



Università degli Studi di Napoli Federico II
Dottorato di ricerca in Conservazione dei Beni Architettonici e del Paesaggio

Coordinatore: prof. arch. Stella Casiello (fino ad ott. 2010)
prof. ing. Aldo Aveta (da nov. 2010)



Potenzialità e prospettive delle tecnologie avanzate di rilevamento per la conservazione dell'architettura storica.

XXIV Ciclo

Dottorando: **arch. Gian Paolo Vitelli**

Tutor: **prof. ing. Aldo Aveta**

Co-tutor: **prof. arch. Bianca Gioia Marino**

novembre 2011

Indice

Obiettivi della ricerca.

Premessa

I Tecniche e strumenti avanzati per la conoscenza dell'architettura storica

Premessa

- 1.1 La nuvola di punti: nuove frontiere
- 1.2 L'integrabilità delle nuvole di punti con altre tecnologie.
- 1.3 Gli scanner 3D
- 1.4 Il "photo scanning
- 1.5 La scelta delle tecnologie in funzione delle esigenze di rilevamento

II Conoscere per conservare l'architettura, approcci teorici

- 2.1 L'architettura come oggetto di conoscenza
- 2.2 Rilevare e rivelare una forma
- 2.3 La conoscenza dell'architettura finalizzata alla conservazione: nuovi scenari

III L'interrogazione diretta delle nuvole di punti: Alcune sperimentazioni significative

Premessa

- 3.1 Analisi delle deformazioni di prospetti: le due torri di Bologna.
- 3.2 Il comportamento statico della cupola esagonale di Santa Maria del Quartiere in Parma
- 3.3 Il rilievo della cittadella di Gozo a Malta: scoperte impreviste e manifestazioni del non visibile

- 3.4 Le grandi statue dei Budda di Bamiyan, in Afganistan: nuvole di punti per la ricostruzione virtuale

IV. L'applicazione sperimentale sulla Cattedrale Santa Maria dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia

Premessa

- 4.1. Il rilevamento della Cattedrale con lo scanner laser a tempo di volo Riegl z390
- 4.2. Rilevamento di dettaglio con lo scanner laser a triangolazione.
- 4.3. La manipolazione diretta delle nuvole di punti, in forma semplice o complessa, per l'interpretazione dei "percorsi" di conoscenza.
- 4.4. I risultati delle sperimentazioni

Considerazioni conclusive

Obiettivi della Ricerca

Da alcuni decenni l'approccio agli aspetti conoscitivi, nell'ambito della metodologia della progettazione del restauro architettonico, sta profondamente modificandosi quale diretta conseguenza dell'irrefrenabile sviluppo delle tecnologie d'indagine che vengono proposte nel panorama specifico dell'attività della conservazione.

Il continuo sviluppo tecnologico se, da un lato, mette oggi a disposizione degli operatori del settore (architetti in primo luogo, ma anche ingegneri, geologi, chimici, ecc.) una molteplicità di nuove strumentazioni e di nuove procedure di analisi, aprendo orizzonti inaspettati di sperimentazione e interessanti opportunità applicative, dall'altro, determina un incremento della distanza tra gli avanzamenti "scientifici" e la prassi operativa, soprattutto laddove le diverse attività utili per il progetto di restauro vengono frammentate, settorializzate in nome di uno scientismo esagerato che finisce per creare confusione e per minimizzare la funzione critica dell'architetto restauratore, con conseguenze negative per il raggiungimento dei reali obiettivi da raggiungere.

L'estrema specializzazione nell'utilizzo delle nuove tecnologie, infatti, comporta sempre più una frammentazione del processo di conoscenza, a fronte del quale emerge l'esigenza del coordinamento di diverse professionalità aventi spesso competenze, conoscenze e finalità diverse.

E' allora oggi quanto mai indispensabile, nell'ambito dei processi conservativi, che tale coordinamento rimanga ben saldo nelle mani del progettista restauratore cui unicamente spetta il compito di decidere quali sono i dati da ricercare, perché strettamente connessi al riconoscimento dei valori e, quindi, utili alla realizzazione di un progetto di restauro di qualità, evitando così che l'eccessiva segmentazione della fase conoscitiva si traduca nell'acquisizione di dati sovrabbondanti, spesso

inutili, rispetto alle finalità dell'indagine, nonché in un'ingiustificata lievitazione dei costi.

Se, com'è noto, il restauro non è operazione meramente tecnicistica di sola conservazione materica del manufatto antico, ma azione critica del progettista che deve fondarsi sul riconoscimento dei valori da conservare, è evidente che anche la fase conoscitiva non può essere fine a se stessa ma deve essere condotta in modo critico e finalizzata al riconoscimento di quei valori.

Proprio per questo motivo l'architetto non può esimersi, oggi, dall'acquisire competenze indispensabili per conoscere in tutti i variegati aspetti il manufatto e per poter gestire i dati e le informazioni, che la tecnologia consente di acquisire.

La ricerca, allora, tende a chiarire quali siano le valenze e le ricadute che il complesso delle più avanzate tecnologie di rilevamento, impiegate nei progetti di restauro dell'architettura storica, possa offrire nelle applicazioni e nelle attività conservative dei manufatti di architettura.

Oggetto di riflessione critica sono, dunque, le tecnologie di rilevamento per il restauro architettonico. Tuttavia, va subito chiarito che la ricerca non intende affrontare le problematiche operative specifiche di tali tecnologie ai fini del rilievo dell'architettura storica, né, tantomeno, intende cimentarsi in rilievi sul campo, intesi, in senso tradizionale, come produzione di rappresentazioni "mongiane" ottenute attraverso l'applicazione delle tecnologie in questione, tali attività sono oggetto di diverse ricerche specifiche che riguardano la disciplina accademica del Rilievo e della Rappresentazione dell'architettura. Analogamente non si intende analizzare il tema da un punto di vista strettamente "tecnologico", pertanto, non è oggetto di interesse la classificazione di apparecchiature e strumenti oggi disponibili; si parte dalla consapevolezza che tali aspetti sono in continua evoluzione e già oggetto di ricerche specifiche da parte di specialisti del settore e di aziende industriali. Quello che, con l'analisi compiuta, si intende approfondire, invece, sono gli elementi "invarianti" e gli aspetti disciplinari della questione,

Obiettivo della ricerca è, infatti, comprendere le attuali applicazioni delle tecnologie di rilevamento in funzione della conoscenza dell'architettura. Ciò porta a muovere l'indagine all'interno delle questioni prime della disciplina del restauro inquadrando il problema della conoscenza nella più complessa interrelazione tra strumenti teoretici ed operativi e comporta anche delle riflessioni sul consolidato percorso metodologico che comprende, sinteticamente, le fasi di analisi e di progetto, consentendo di analizzare e dunque anche di comprendere come e quanto le sempre nuove possibilità dovute agli avanzamenti strumentali possano influenzare l'approccio al restauro e, quindi, l'intervento conservativo sulla materia e, inevitabilmente, sull'immagine del manufatto/documento.

Tali nuove possibilità che la tesi individua, derivano essenzialmente dalle caratteristiche del prodotto informativo che le tecnologie oggetto di studio, sono in grado di fornire, indipendentemente dalle tante varianti tecnologiche e strumentali che lo producono.

Questo particolare prodotto informativo, ovvero, "la nuvola di punti" introduce, infatti, una novità assoluta nel campo del rilevamento, che non consiste tanto nella forma o nel tipo di dati offerti, quanto "nell'automazione mensoria" che le tecnologie di rilevamento realizzano per produrlo.

L'interesse della ricerca è rivolto, infatti, a quelle tecnologie che, nel panorama attuale, perseguono l'obiettivo dell'acquisizione di dati metrici tridimensionali (e qualitativi), attraverso logiche strumentali che, con una certa forzatura, potremmo considerare, in gran parte, indipendenti sia dall'oggetto del rilevamento, sia dalle valutazioni a-priori dell'operatore sulla geometria dell'oggetto da rilevare.

Questa nuova "possibilità" di acquisire misure metriche tridimensionali diffuse attraverso un processo automatico tendenzialmente non-interpretativo, risponde a due fondamentali esigenze di conoscenza che riguardano strettamente la Conservazione dei beni culturali: l'istanza di "oggettività" del dato raccolto sul campo, che può così diventare, a sua volta, "documento", individuato nel tempo, e quella della ricerca,

attraverso il “misurare”, dell'imprevisto e dell'invisibile, elementi che nessun modello aprioristico può contenere.

La ricerca, in sintesi, tenta di dare risposta ad alcune domande: In che modo l'utilizzo delle “nuvole di punti” influisce sul processo di conoscenza ai fini del progetto di conservazione dell'architettura storica?

In quali fasi di tale percorso di conoscenza l'utilizzo delle nuvole di punti incide in modo innovativo e determinante e con quali effetti?

Tale influenza va ad incidere solo in campo operativo oppure ha riflessi anche nel campo teorico del restauro?

A tal fine essa si sviluppa attraverso 4 percorsi paralleli che possono essere così schematizzati:

1. Definizione dell'oggetto di studio: che cos'è la nuvola di punti e quali sono le caratteristiche e le modalità di produzione in base alle tecnologie oggi disponibili
2. Inquadramento teorico del problema
3. Analisi di sperimentazioni significative
4. Sperimentazione diretta sul campo

Individuati i principali nodi critici, infatti, è apparso necessario verificarli nel concreto, attraverso un'applicazione sperimentale che si è svolta nel sito della Cattedrale dell'Assunta del Castello aragonese dell'isola d'Ischia, non con lo scopo di produrre un rilievo del manufatto ma un riscontro sperimentale dei nodi critici emersi nel corso della ricerca. Tale attività è stata resa possibile dalla disponibilità di alcune strumentazioni di rilevamento tra cui, in particolare, due diverse tipologie di laser scanner.

Premessa

E' nota l'importanza centrale che assume il tema della conoscenza nell'ambito della conservazione, sia perché la documentazione tecnica dello stato di fatto interviene in numerosi settori e fasi del progetto di restauro, ma soprattutto poiché nel percorso metodologico specifico della disciplina, come è noto, la fase dell'acquisizione dei dati e della "conoscenza" non si esaurisce in un'indagine preliminare e propedeutica al progetto ma interviene a più riprese anche in fase di esecuzione e di verifica condizionando più volte le scelte, soprattutto laddove intervengono nuove importanti informazioni ignote nella fase preliminare, e, a restauro ultimato, quando è necessario il controllo, il monitoraggio e la gestione dei beni conservati.

Questo continuo confronto diretto con il "monumento" è quindi caratteristica intrinseca del Restauro e va ottenuto attraverso l'utilizzo di tutti i mezzi e le tecniche non invasive o minimamente invasive a disposizione, in quanto, come sottolineato da Gino Chierici: *"La sola guida vera e sicura è il monumento attorno al quale si lavora. Bisogna saperlo interrogare e se non risponde bisogna avere la forza di arrestarsi"*.¹

Di qui l'esigenza di pervenire alla conoscenza fisica degli oggetti del restauro, attraverso rilievi di elevato livello di qualità, *"che non conducano alla rappresentazione di una forma generica approssimativa e congetturale, ma che forniscano invece la forma effettiva e cioè perfettamente obiettiva, totale, con tutte le sue irregolarità, volute o non, importanti o non, di interesse estetico, tecnico o storico"*.²

L'utilizzo delle più attuali tecnologie d'indagine ed in particolare delle nuove tecniche di scansione a laser o a luce strutturata per il rilievo dello stato di fatto dell'architettura, se da una parte offrono enormi nuove

¹ Cit. in S. Casiello, Restauri a Napoli nei primi decenni del 900, in *Restauro* nn. 68-69/1983

² Hans Foramitti, *Mesures de sécurité et d'urgence pour la protection des biens culturels*, ICCROM 1972

opportunità e possibilità in particolar modo interessanti per le finalità della conservazione, dall'altro introducono numerose implicazioni che vanno indagate in modo approfondito poiché si riverberano in modo sostanziale nell'approccio al problema della conoscenza dell'architettura e del territorio e, pertanto, nel processo metodologico proprio del progetto di restauro.

Se, infatti, non è ancora chiaro se esiste un "rilievo per il restauro", inteso cioè come una specifica forma del rilevare, sicuramente il rilievo architettonico, quale mezzo di indagine capace di "produrre senso e comprensione della fabbrica", è uno degli strumenti più propri del restauro in quanto "mezzo di decifrazione delle topologie, delle patologie e delle geometrie architettoniche" e quindi strumento con il quale il restauratore interroga la fabbrica alla ricerca di quei valori che sarà chiamato a conservare e quelle patologie che sarà chiamato a sanare.

Ma se è vero che solo ponendo le giuste domande si possono ottenere le giuste risposte, il rilievo non può essere considerato in nessun caso come un'indagine "oggettiva" ma sempre intrinsecamente soggettiva, nonostante il diverso approccio metodologico che comporta l'uso delle nuove tecnologie, ne consegue che il rilievo deve essere condotto anche in questo caso direttamente dall'architetto conservatore che deve poter porre all'oggetto di indagine le domande più opportune ai fini del progetto di conservazione e questo a maggior ragione quando le tecnologie utilizzate, sempre più complesse e sofisticate, rischiano sempre più di escluderlo dal processo conoscitivo.

Occorre, quindi, necessariamente interrogarsi in che modo questi nuovi strumenti modificano il processo di conoscenza.

E' possibile, osservare alcuni tratti comuni o "invarianti":

Le più innovative tecnologie di analisi prese in considerazione tendono ad acquisire dal reale un numero di dati spesso esorbitante e sovrabbondante che deve essere poi, in laboratorio, filtrato e decimato, quindi ridotto ed elaborato per poterne consentire una lettura / interpretazione critica.

Non sarebbe possibile servirsi di tali tecnologie senza un avanzato supporto informatico (hardware e software) che renda possibile la gestione e l'elaborazione di una tale quantità di dati.

Al contrario di come avveniva tradizionalmente sul campo, quando in base ad una valutazione esperta si sceglieva preliminarmente quali dati acquisire (si pensi ad es. ad un rilievo tradizionale in cui il rilevatore decide in base ad un'astrazione geometrica prefigurata quali spigoli misurare), si tende ora a demandare ad una fase successiva di laboratorio l'intervento critico di scelta dei dati da prendere in considerazione durante l'analisi, lasciando quindi che la macchina acquisisca sul campo quanti più dati possibile. Questo, naturalmente, non elimina del tutto l'intervento esperto preliminare ma lo trasferisce nella scelta di quali tecnologie utilizzare per un determinato scopo e quindi nella scelta delle modalità e procedure specifiche di acquisizione, ciò comporta la necessità, da parte degli operatori in campo, di padroneggiare tutte le più attuali ed efficaci tecnologie disponibili.

L'acquisizione di un'enorme quantità di dati operata "acriticamente" sull'oggetto dalla macchina, comporta che l'insieme di dati acquisiti sul campo costituisce una sorta di documento "oggettivo", nella misura in cui può essere oggettiva la precisione di una macchina o una tecnologia in determinate condizioni ambientali nella piena correttezza di funzionamento. Ciò vuol dire che, così come può essere oggettiva una fotografia, tale insieme di dati rappresenta una testimonianza "oggettiva" dello stato di fatto di un oggetto nel determinato momento temporale in cui è eseguita la misurazione, non dipendendo la scelta di cosa misurare dalla valutazione soggettiva dell'operatore che la esegue. Pertanto tale insieme rappresenta un riferimento certo non soltanto per le successive elaborazioni che possono essere realizzate da un determinato gruppo di esperti ma anche per elaborazioni diverse realizzate da gruppi diversi in momenti diversi.

Il vero nodo critico della questione è la necessaria riduzione ed elaborazione dei dati da effettuare in fase di postproduzione in laboratorio, in quanto tale operazione spesso comporta una pericolosa perdita di controllo, da parte degli operatori, delle trasformazioni

realizzate sui dati nelle varie fasi dell'elaborazione. La ragione principale di questa perdita di controllo sta nell'utilizzo, spesso non completamente consapevole, degli algoritmi di calcolo con cui i softwares di elaborazione effettuano le trasformazioni richieste, in quanto spesso ignoti all'operatore e controllabili solo attraverso alcuni parametri di settaggio per ogni singola operazione. Ciò rende di fatto impossibile, al termine del processo, la valutazione globale delle approssimazioni e delle trasformazioni effettuate su ogni singolo dato originariamente acquisito.

Esiste oggi ancora una certa discrezionalità procedurale con cui spesso le operazioni di elaborazione sono eseguite in laboratorio dai vari operatori, non esistendo, nella maggior parte dei casi, ancora processi e procedure unificate, scientificamente accettate e quindi normate. Questo rappresenta ovviamente un problema nella eventuale verifica dell'attendibilità dei risultati di un lavoro condotto con queste strumentazioni.

Analizziamo ad esempio il caso del rilievo metrico con il Laser Scanner.

Le procedure di rilievo che questa tecnologia richiede introducono implicazioni teoriche che vanno a modificare la filosofia stessa del rilevamento metrico che *“era basata sulla pratica di un numero relativamente piccolo di misure estremamente accurate e richiedeva tempi lunghi e notevole perizia”*.

Infatti nelle tecniche di rilievo tradizionale (manuale, topografico, fotogrammetrico) i punti da misurare “vengono scelti a priori secondo criteri logici di descrizione della forma dall'operatore umano”, scelte che quindi non sono casuali ma seguono un pensiero logico di tipo geometrico-descrittivo.

Al contrario, attraverso i sistemi a scansione si opera una conversione della forma fisica di un oggetto in una serie di punti di coordinate note effettuando una selezione dei punti secondo un ordine precostituito di acquisizione e quindi senza operare alcun tipo di scelta sulla necessità o meno del punto acquisito nella descrizione della geometria (può quindi avvenire che i punti notevoli o utili non vengano affatto acquisiti).

Questo implica che

“Il risultato (grezzo) di una scansione non può quindi essere considerato a rigore un rilievo metrico ma una serie di informazioni a partire dalle

quali deve iniziare una fase “intelligente” di interpretazione e codifica del dato”,

ovvero occorre trasformare il dato grezzo acquisito in un rilievo metrico vero e proprio spostando a posteriori “l’intelligenza” necessaria all’estrazione delle primitive geometriche indispensabili a descrivere l’oggetto mediante superfici e volumi e non solo mediante punti singoli privi di connessione logica.

“Se le problematiche inerenti la misura sono semplificate, quindi, quelle successive sono state solo spostate più avanti nel processo di rilevamento”.

Questa considerazione sgombera il campo dall’illusione che i nuovi sistemi possano attualmente essere in grado di offrire un processo totalmente automatizzato fino al prodotto finito senza l’intervento “intelligente” dell’uomo e che si possa ritenere esaurita la funzione del rilievo in quanto “discretizzazione razionale del continuo spaziale” cioè di un processo razionale in grado di “trasformare una mera campionatura in un modello capace di sintetizzare l’oggetto complesso”.

D’altro canto, però, i sistemi a scansione offrono una serie di potenzialità sconosciute ai rilievi tradizionali che a tutt’oggi rappresentano ancora campi aperti di ricerca e di esplorazione.

Il cambiamento strutturale del tipo di dati a disposizione, ad esempio, “comporta un ampliamento di orizzonti sia per le finalità descrittive e conoscitive proprie della documentazione che per quelle prescrittive”.

Se l’evoluzione hardware di tali sistemi va ormai nella direzione di un continuo affinamento nella precisione e nella velocità di campionatura, lasciando sostanzialmente invariato il tipo di dato ottenuto, il vero cambiamento oggi consiste nella nuova tipologia dei prodotti che possono essere ottenuti da quei dati e dal grado di automazione che si riesce ad ottenere in un tale processo.

Tendere ad un processo automatizzato è infatti indispensabile

“affinché si possa giungere in maniera effettivamente vantaggiosa (rispetto alle tecniche tradizionali) ad una rappresentazione utile alla comprensione dell’oggetto rilevato ed alla produzione di elaborati quali piante, prospetti, sezioni, ortoproiezioni, viste prospettiche e modelli 3D

indispensabili alla lettura conoscitiva del manufatto e all'elaborazione del progetto di restauro”.

Ma tendere all'automazione vuol dire trovare procedure standardizzate di post produzione traducibili in software specifici e preconfezionati disponibili per tutti gli operatori, in grado di fornire con minimi interventi “intelligenti” un prodotto finito, demandando così alla macchina la gestione e l'elaborazione dei dati.

E' necessario a questo punto essere consapevoli che questo obiettivo primario (che è oggi molto lontano dall'essere raggiunto) comporta il rischio implicito di un possibile utilizzo superficiale del sistema che si risolverebbe in *“una perdita di controllo da parte dell'operatore sui singoli dati e sulle diverse fasi dell'elaborazione”* ben sapendo che *“non è possibile ottenere risultati di elevata qualità senza essere consapevoli dei principi e delle procedure di calcolo che stanno alla base delle diverse fasi di elaborazione”*.

Man mano che la ricerca va avanti e che le tecniche si fanno più sofisticate allora appare paradossalmente sempre più indispensabile “un uso integrato di tutte le tecniche di rilievo e la formazione di professionalità in grado di controllare tutte le metodologie e le fasi dell'intera pipeline dalla progettazione delle acquisizioni all'elaborazione numerica dei dati”. Contemporaneamente “vanno potenziate le istanze di controllo della qualità della conoscenza e il collaudo dei risultati per ovviare all'asimmetria insita nel rapporto tra committente e rilevatore” allo status quo attuale.

Una strada per comprendere quanto le nuove tecnologie di rilievo, oggetto del nostro studio, siano adatte a fornire risposte alle istanze conoscitive specifiche della conservazione, giustificando il nostro interesse, è quella di analizzare con uno sguardo complessivo gli ambiti applicativi delle varie tecniche di rilevamento oggi sul campo, quelle più innovative insieme con quelle ormai consolidate, per metterle a confronto, su un terreno comune ed omogeneo, con il campo di interesse della documentazione dei beni culturali, che, come sappiamo, nel corso degli anni è andato via via ampliandosi sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo.

Come è ormai noto, infatti, l'estensione progressiva del concetto di "bene culturale" a partire dalla Carta di Venezia del 1964 fino all'attuale Codice (che accoglie i concetti fin qui espressi e condivisi dai restauratori), ha condotto all'inevitabile estensione anche "quantitativa" del campo dei rilievi necessari alla conservazione dei beni culturali, rendendo indispensabile l'utilizzo di nuove metodologie e tecniche capaci di ridurre i tempi e i costi di rilevamento sul campo, salvaguardando, anzi, potenziando la precisione e la qualità di acquisizione dei dati.

A tale ampliamento, infatti, è corrisposta una progressiva estensione anche in senso dimensionale dei manufatti che ricadono nella sfera di interesse della conservazione la quale, come sappiamo, oggi spazia dai beni mobili di dimensioni molto piccole, fino a interi quartieri e siti di livello urbano e territoriale, sovrapponendosi, in questo modo, ai campi di interesse un tempo specifici di altri ambiti disciplinari come l'urbanistica o la topografia. Ciò comporta che anche le tecniche di rilevamento e gli apparati strumentali che un tempo erano pertinenti e specifici di quei campi disciplinari, oggi ricadono anch'essi nella sfera di interesse della Conservazione.

Una delle conseguenze di tale ampliamento, dunque, è l'attuale estrema specializzazione delle competenze richieste e la lenta separazione tra l'attività del restauratore e quella del rilevatore che oggi è spesso causa di conflitto disciplinare.

A differenza di quanto avvenuto in passato, infatti, in molti casi l'architetto restauratore non è più, ormai, la stessa persona che effettua direttamente il rilevamento metrico o talune indagini specifiche, non avendo egli più le competenze necessarie per poter utilizzare certe tecnologie oggi indispensabili.

Tuttavia, proprio dall'attività di ricerca applicata della conservazione, in certi casi particolarmente felici, sono sorte forti spinte propulsive proprio allo sviluppo di tecniche di rilevamento più raffinate.

Citiamo il caso, ad esempio, della fotogrammetria "close range" che ha visto proprio nell'attività del restauro l'estendersi dei suoi campi applicativi, proprio per rispondere all'esigenza di documentazione di

cortine edilizie e di oggetti di difficile accesso o la documentazione di superfici complesse di piccole e grandi dimensioni, ricerca che in taluni casi è sfociata direttamente nello sviluppo di strumenti o softwares specifici, basti pensare alle collaborazioni di ricerca condotte dalla Scuola di specializzazione in restauro dei monumenti di Napoli con la Galileo Siscam per lo sviluppo del software Archis o alle ricerche effettuate a Roma dall'ICR.

Se si assume che in parte lo sviluppo della attuale tecnologia delle nuvole di punti è in qualche modo “figlia” delle ricerche che sono state condotte in campo fotogrammetrico avvenute dal dopoguerra in poi, non è dunque azzardato affermare che in qualche modo le esigenze della conservazione hanno contribuito ad ampliare notevolmente sia i campi applicativi sia la varietà delle tecniche di rilevamento oggi utilizzate.

Tuttavia questi casi felici appena citati, costituiscono più un'eccezione che una regola, laddove, come ben sappiamo, le regole sono dettate più dalle logiche di mercato che non dalle esigenze scientifiche, e questo proprio quando sarebbe invece fortemente auspicabile, oggi più che mai, che lo sviluppo tecnologico in tali campi segua e non preceda le esigenze specifiche della conservazione.

E' proprio a tale scopo che, con uno sguardo forse invadente che travalica certi confini disciplinari molto labili, si vuole, in questo studio, fare uno sforzo per comprendere i meccanismi di ciò che si sta sviluppando nel campo delle tecniche di rilevamento più avanzate.

L'approccio conoscitivo e programmatico applicato ai metodi di rilievo e di restituzione dei Beni Culturali parte dalla definizione data dall'art. 29 del Codice dei Beni Culturali in cui si afferma che “La conservazione del patrimonio culturale è assicurata mediante una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro”.

Nel Contesto italiano ed internazionale, in un ambito di attività non saltuarie ed episodiche, ma programmate, assumono particolare rilevanza i temi della manutenzione e del rilievo, che sempre il Codice definisce come “il complesso delle attività e degli interventi destinati al controllo delle condizioni del bene culturale e al mantenimento dell'integrità, dell'efficienza funzionale e dell'identità del bene e delle sue parti”.

In questa definizione si considera l'attività di rilievo come un'attività complessa che richiede un approccio globale nella definizione dei modelli di organizzazione, nelle strategie conoscitive e attuative.

In un contesto necessariamente multidisciplinare il rilievo è disciplina caratterizzata da un doppio compito:

da una parte quello analitico, finalizzato a definire la conoscenza del Bene Culturale dal punto di vista geometrico materiale, radiometrico, con analisi degli elementi di dissesto e di degrado atti a descrivere quadri diagnostici dello stato di funzionamento e di degrado o di rischio;

dall'altra quello metodologico-sperimentale, il cui obiettivo è quello di definire le migliori strategie di intervento in merito alle strumentazioni utilizzabili, alle metodologie di applicazione ed alla ricerca delle forme migliori di rappresentazione, nonché, come ultimo aspetto, la sostenibilità economica in funzione delle scelte sui metodi di rappresentazione del rilevato.

Nell'ambito della conservazione dei Beni, infatti, quello che diventa importante è l'approccio alla manutenzione programmata che per essere fatta e sostenibile deve essere supportata da analisi che permettono questa tipologia di intervento con costi contenuti.

Come in precedenza detto, l'estensione progressiva del concetto di "bene culturale" a partire dalla Carta di Venezia del 1964 fino all'attuale Codice, conduce all'inevitabile estensione anche "quantitativa" del campo dei rilievi necessari alla conservazione dei beni culturali.

Gli attuali orientamenti di ricerca tendono però ad ampliare anche i metodi, i significati e le motivazioni del rilievo considerandolo come un vero e proprio strumento d'indagine non distruttiva, di diagnosi e di analisi dei processi e dello stato di degrado del manufatto in una prospettiva più attenta alle questioni di manutenzione e di conservazione che a quelle tradizionali di restauro.

Questo grazie anche al travolgente sviluppo del mezzo informatico e degli strumenti di acquisizione dei dati (dal laser scanner al laser-radar, dal geo-radar al T-scan e al T-Cam ecc.) le cui caratteristiche di precisione e velocità aprono nuovi settori di sperimentazione "dallo studio e dalla classificazione del degrado ai problemi di consolidamento

e restauro delle superfici intonacate e tinteggiate, dalla rappresentazione del colore (anche degli stessi materiali costitutivi modificatisi sotto l'azione del tempo e, quindi, in senso lato delle loro "patine") all'indagine sugli antichi sistemi costruttivi e strutturali, non escluse alcune forme di rilevamento di precisione, ad esempio per valutare le deformazioni di volte ed archi oppure lo strapiombo e le inflessioni di superfici murarie e sostegni verticali, o anche cedimenti fondali" come sottolinea G. Carbonara (presentazione del volume di Donatella Fiorani, Restauro architettonico e strumento informatico. Guida agli elaborati grafici, Liguori, 2004)

Oltre alla conoscenza orientata all'analisi dei valori tipica del Restauro, l'analisi del degrado, il rilievo materico, lo studio dei comportamenti strutturali, delle sezioni resistenti, dei movimenti e delle deformazioni è infatti ormai da qualche tempo un problema di grande interesse essendo alla base degli stati temporali di conservazione e di stabilità.

A questo proposito va considerato approfonditamente il più recente documento normativo riguardante la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale.³

Tale documento, che recepisce le precedenti linee guida redatte da un gruppo di lavoro composto anche da personalità di spicco del campo del restauro come G. Carbonara, C. Blasi ecc., assume in modo esplicito il problema della conoscenza della costruzione storica come un presupposto fondamentale sia ai fini di una attendibile valutazione della sicurezza sismica attuale, sia per la scelta di un efficace intervento di miglioramento, al punto tale che la questione della Conoscenza viene riconosciuta non solo come un problema di tipo "qualitativo" ma anche di tipo "quantitativo" entrando, cioè, direttamente nel calcolo di verifica come fattore numerico per il quale vanno moltiplicati a seconda dei casi i moduli elastici e le resistenze dei materiali (se si assumono modelli che considerano la deformabilità e la resistenza dei materiali e degli elementi strutturali), oppure direttamente l'accelerazione sismica corrispondente ai

³ (crf. Dirett. Pres. Cons. Min. 12/10/2007 nella Gazzetta Ufficiale 29/01/2008)

diversi stati limite considerati (se si considerano modelli di corpo rigido non resistente a trazione, nel caso delle murature).

Tale fattore, chiamato “fattore di confidenza” F_c compreso tra 1 e 1.35, consente infatti di graduare l’attendibilità del modello di analisi strutturale e della valutazione dell’indice di sicurezza sismica, diretta conseguenza del livello di conoscenza ottenuto del manufatto.

Infatti il fattore di confidenza viene espresso come una sommatoria di fattori parziali di confidenza i cui valori sono associati alle quattro categorie di indagine sul manufatto e al livello di approfondimento in esse raggiunto, e cioè:

$$F_c = 1 + F_{c1} + F_{c2} + F_{c3} + F_{c4}$$

dove

F_{c1} = Rilievo geometrico

F_{c2} = Rilievo materico dei dettagli costruttivi

F_{c3} = Proprietà meccaniche dei materiali

F_{c4} = Terreno e fondazioni

graduati in base a vari livelli di approfondimento esplicitati nella seguente tabella riassuntiva :

Rilievo geometrico	Rilievo materico e dei dettagli costruttivi	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo	limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi	parametri meccanici desunti da dati già disponibili	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni
FC1 = 0.05	FC2 = 0.12	FC3 = 0.12	FC4 = 0.06
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi	esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali	disponibilità di dati geologici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni
	FC2 = 0.06	FC3 = 0.06	FC4 = 0.03
	esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni
FC1 = 0	FC2 = 0	FC3 = 0	FC4 = 0

Manca in questo approccio una voce specifica riguardante il grado di conoscenza “storica”, in senso lato, e stratigrafica del manufatto, ma appare chiaro come anche dal punto di vista della protezione sismica, la conservazione dipenda a questo punto direttamente dal grado di conoscenza del manufatto poiché tanto maggiore sarà il livello di conoscenza, minore sarà il fattore di confidenza, maggiore sarà la soglia di raggiungimento dello stato limite considerato, quindi l’indice di sicurezza, tanto minore sarà l’impatto sul monumento dell’eventuale intervento di miglioramento necessario a raggiungere il maggior livello di protezione sismica compatibile con le esigenze di tutela per un determinato “uso” del bene e quindi maggiore sarà la conservazione.

L’indice di sicurezza sismica, infatti, rappresenta il rapporto tra il livello di protezione sismica attuale oppure raggiungibile con l’eventuale intervento di miglioramento, compatibilmente con le esigenze di tutela, ed il livello di protezione auspicabile in relazione all’accelerazione sismica attesa in una data zona, in funzione delle categorie d’uso e della rilevanza, esso costituirà il riferimento per la valutazione della compatibilità dell’uso previsto e, di conseguenza, per le decisioni operative sui lavori di miglioramento sismico da eseguire e sui provvedimenti generali da adottare per garantire la sicurezza (limiti di accessibilità, limitazioni o modifica della destinazione d’uso, ecc.).

Si ha pertanto la necessità di affinare tecniche di analisi ed interpretazione dei manufatti storici mediante fasi conoscitive dal diverso grado di attendibilità, anche in relazione al loro impatto, privilegiando ovviamente quelle meno o non invasive.

Tali operazioni saranno funzione degli obiettivi preposti ed andranno ad interessare tutto o in parte l’edificio, a seconda della tipologia dell’intervento previsto.

Altro discorso ancora richiede la questione del “monitoraggio”, ovvero il controllo periodico della costruzione, anch’esso previsto come “pratica fortemente auspicabile” nella suddetta direttiva del 12/10/2007 poiché “rappresenta il principale strumento per una consapevole conservazione, in quanto consente di programmare la manutenzione ed attuare in tempo,

quando realmente necessari, gli interventi di riparazione, in caso di danno strutturale, e di consolidamento, finalizzato alla prevenzione.”

Nella direttiva si distingue tra “monitoraggio visivo” inteso come controllo periodico dell’insorgenza di stati fessurativi, fenomeni di degrado, trasformazioni strutturali e nell’ambiente circostante, ritenuto come punto di partenza dell’attività di controllo e “monitoraggio strumentale” di specifici parametri ritenuti significativi all’interno del modello di funzionamento strutturale preventivamente analizzato.

Appare chiaro anche in questo caso che maggiore sarà l’attendibilità e l’aderenza al comportamento reale del modello considerato, maggiormente saranno significativi i parametri ritenuti “sensibili” da monitorare, quindi anche nell’attività di monitoraggio la base di partenza indispensabile è l’approfondimento del livello di conoscenza del manufatto.

Come sappiamo il monitoraggio strumentale dei quadri fessurativi può essere fatto in continuo, a distanza, ma, come sottolinea specificatamente la direttiva, quando coinvolge il controllo geometrico della costruzione “può essere eseguito mediante procedure di rilievo topografico, fotogrammetrico, o utilizzando tecniche innovative, come la nuvola di punti generata dal laser scanner” , specificando che “tale metodologia non risulta esclusiva e deve essere attentamente valutata la precisione fornita in relazione alle soglie di movimento ritenute significative”.

Tuttavia, si legge ancora nel documento, “il monitoraggio non rappresenta uno strumento di allarme o di individuazione del comportamento sismico. Un suo uso può risultare significativo nell’emergenza post-terremoto, su strutture fortemente danneggiate di cui si volesse verificare l’evoluzione del meccanismo attivato dal sisma e la risposta ad eventuali scosse di replica”; e alla luce dei recenti eventi sismici in Abruzzo e in considerazione dell’estensione e la rilevanza culturale dell’area interessata dai dissesti, questa affermazione risulta, naturalmente, di estremo interesse.

Si rende indispensabile a questo punto chiedersi in che modo è possibile ottenere il maggior grado di approfondimento di indagine dei manufatti ai fini della conservazione e come ottenerlo nel minor tempo e col minor

costo possibile, tenendo conto l'indispensabile analisi economica costi e benefici che una tale indagine approfondita può comportare.

La legislazione corrente in materia di tutela dei beni culturali (Codice Urbani), infatti, recependo in via definitiva quanto auspicato dai restauratori fin dalla Carta di Venezia del 1964, ha esteso la tutela anche a beni di interesse etno-antropologico oltre che ai beni di rilevanza artistico culturale.

L'estensione del concetto di bene culturale, impone, quindi, la ricerca di soluzioni tecnologiche che consentano applicazioni diffuse interessanti anche i beni culturali "minori", cioè beni per i quali un'analisi "costi / benefici" applicata all'indagine conoscitiva, potrebbe potenzialmente costituire un fattore di crisi a tutto discapito della conservazione. Obiettivo, questo, che appare realizzabile unicamente attraverso un minor dispendio di risorse dedicate, possibile solo attraverso l'utilizzo integrato delle più diverse tecniche di acquisizione di dati metrici e spaziali, di dati termografici e radar già oggi disponibili, tecniche che vanno dal rilevamento geometrico, fotogrammetrico al rilievo topografico georeferenziato fino ai laser scanner 3D, in un'ottica nuova di integrazione sistemica che possa consentire rapidità di esecuzione in situ, economicità e versatilità applicativa.

Tutte queste tecniche, infatti, producono già oggi acquisizioni di dati del reale che corrispondono in buona parte alle caratteristiche ricercate, e che, con opportuni accorgimenti, possono anche essere considerate ripetibili, sovrapponibili e confrontabili tra loro a distanza di tempo con sufficiente precisione, consentendo, seppur con minor capillarità di un monitoraggio continuo, analisi di tipo variazionale e differenziale mirate alla verifica temporale di alcuni macroscopici comportamenti strutturali o della progressione degli stati di degrado; un campo di ricerca, questo, ancora aperto, foriero di nuove importanti applicazioni.

Molto interessante è notare, in questo senso, che l'evoluzione tecnologica delle varie tecniche di conoscenza e di acquisizione/rappresentazione della realtà prima menzionate, si è già posta da tempo, come obiettivo di sviluppo, il potenziamento di talune caratteristiche comuni ben precise quali:

Manovrabilità, trasportabilità e versatilità degli strumenti

Rapidità, semplicità e precisione delle acquisizioni sul campo

Precisione nella georeferenziazione delle acquisizioni

Spostamento della fase di valutazione analitica ed elaborazione sintetica dei dati acquisiti alla fase di post-produzione, in laboratorio, per ridurre al minimo indispensabile le operazioni in situ.

Maggior grado di gestibilità possibile dei dati, a dispetto della quantità, al fine di permetterne la manipolazione attraverso computers e softwares comunemente reperibili sul mercato.

Maggior economicità possibile delle risorse hardware e software e dei procedimenti necessari al conseguimento dei prodotti finiti (anche nei termini di minor tempo di lavorazione occorrente).

Tutte caratteristiche che appaiono coerenti con quell'idea di sistema integrato per la diagnostica, capace di garantire rapidità di esecuzione, versatilità, diffusione ed economicità e, se vagliato da un rigoroso sistema di collaudo e di controllo di qualità, capace di garantire grande precisione ed affidabilità.

Certo ad oggi tali caratteristiche esprimono solo una tendenza di sviluppo più che una realtà raggiunta poiché, in effetti, le attrezzature necessarie hanno ancora costi di produzione elevati e le procedure operative non sono ancora sufficientemente standardizzate e condivise tra i vari gruppi di ricerca, tuttavia va considerato che la maggior parte di queste tecniche sono ancora in fase sperimentale e non c'è dubbio che quanto detto esprime una tendenza che andrà sempre più consolidandosi.

Questo stato di incertezza operativa si riverbera naturalmente anche nei prezziari e nei Capitolati che contemplano il ricorso a tali tecniche, i quali forniscono per lo più indicazioni sul tipo di elaborati da produrre invece che prescrizioni circa le modalità da seguire per ottenerli, anzi la scelta stessa della strumentazione e delle procedure viene effettuata attualmente spesso in base alla sola esperienza acquisita dagli operatori nelle applicazioni sperimentali, e non, e in funzione unicamente delle caratteristiche dell'oggetto e delle finalità del rilievo.

C'è da notare, a tal proposito, che l'utilizzo delle nuove tecnologie per la diagnostica, se da un lato trasferisce tendenzialmente parte della

valutazione analitica ed elaborazione sintetica dei dati acquisiti alla fase di post-produzione, in laboratorio, per ridurre al minimo indispensabile le operazioni in situ, questo non vuol dire che, in situ, l'attività di analisi e di valutazione critica preliminare sui dati da rilevare e sui modi del rilievo possa essere delegata ai tecnici operatori o addirittura eliminata del tutto, ma anzi che questa attività, pur assumendo nuove forme, deve necessariamente tornare nelle mani dei conservatori risolvendosi nella scelta consapevole ed esperta degli apparati tecnologici e delle tecniche più adeguate ed economiche da utilizzare in un dato contesto o per un particolare scopo, così come nell'individuazione del tipo di indagine da effettuare e delle zone da campionare.

Questo poiché “riprendendo i concetti propri della moderna teoria del restauro, la metodologia dell’approccio progettuale, vede nella fase della conoscenza il presupposto fondamentale per compiere scelte non solo efficaci ma, soprattutto, rispettose di una serie di principi cardine, tra i quali, oltre a quello già citato del minimo intervento, la distinguibilità, il temperamento dell’istanza storica ed estetica, l’autenticità, la reversibilità, la compatibilità fisico-chimica e meccanica. E tutto ciò – è bene sottolinearlo – trova una sua coerenza nel fatto che il restauro non è operazione meramente tecnicistica di sola conservazione materica del manufatto antico, ma azione critica del progettista che deve fondarsi sul riconoscimento dei valori da conservare (art.29 Codice dei BB CC).

Tale concetto, riconosciuto a livello legislativo, trova difficoltà ad essere acquisito ed applicato, soprattutto laddove le diverse attività utili per il progetto di restauro vengono frammentate, parcellizzate, settorializzate in nome di uno scientismo esagerato che crea confusione e minimizza la funzione dell’architetto restauratore, con conseguenze negative per il raggiungimento dei reali obiettivi da raggiungere”⁴

Da ciò ne consegue che l'architetto conservatore non può più esimersi oggi dall'acquisire le competenze indispensabili per padroneggiare ciò

⁴ A. Aveta, 2008

che la tecnologia attuale mette a sua disposizione ai fini della conoscenza e quindi della conservazione.

E' interessante, a tale scopo, dunque, avere uno sguardo generale sul panorama delle tecnologie di rilevamento, operando, laddove possibile, un confronto tra gli specifici ambiti applicativi e gli ambiti di interesse della conservazione.

Il primo passo è dunque costruire un terreno di confronto omogeneo ed efficace per un'analisi comparata di questo tipo.

A tale proposito, studi presentati di recente ad alcuni convegni⁵ hanno affrontato per la prima volta questo tipo di analisi e possono rappresentare un buon punto di partenza per lo sviluppo del nostro discorso.

Il primo studio che citiamo è un'analisi presentata dal prof. Fregonese del politecnico di Milano al convegno dal titolo *"Tecniche di analisi per la conservazione dei beni architettonici, archeologici e ambientali. Nuove prospettive"* tenutosi a Napoli nel 2010 a cura della professoressa R. A. Genovese.⁶

In tale studio, il cui oggetto era la presentazione di nuovi procedimenti speditivi di rilevamento, il prof. Fregonese ha tentato di disegnare il panorama più attuale delle tecniche di rilevamento allo scopo di collocare, in tale panorama, le tecniche da lui messe a punto. Per poter operare tale comparazione su un terreno omogeneo, egli ha costruito uno spazio cartesiano virtuale utilizzando, come parametri di confronto, da un lato la dimensione degli oggetti da rilevare e dall'altro i punti di campionamento necessari per descriverli.

Questo spazio cartesiano, ci fornisce lo spunto per una riflessione: esso è, in effetti, molto efficace perché tiene conto di più fattori, anche non espliciti che caratterizzano il problema operativo della rappresentazione con riflessi anche teorici. Esso infatti tiene conto da un lato della dimensione dei manufatti che, come detto, è oggi un punto critico per la

⁵ Di grande interesse sono in particolare gli incontri annuali sul tema del rilievo e della rappresentazione per la conservazione che da diversi anni si tengono a Napoli nella Chiesa di Donnaregina vecchia, curati dalla prof. R. A. Genovese.

⁶ In parte pubblicato in R.A. Genovese (a cura di), *Dalla conoscenza al progetto, Metodologie e strumenti per la conservazione e il restauro*, Arte Tipografica editrice. 2011

documentazione dei beni culturali ai fini della conservazione, ma anche della complessità geometrica degli oggetti sotto forma di punti di campionamento necessari per descriverli compiutamente.

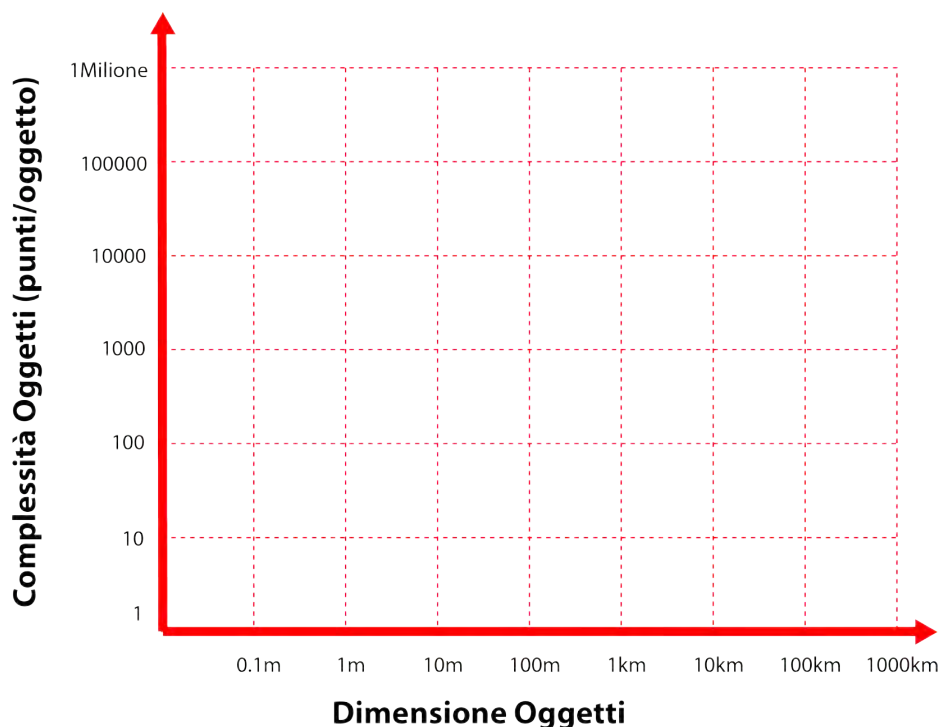


Fig.01 –grafico tratto dall'intervento del prof. Luigi Fregonese nella giornata di studi sul rilevamento tenuto a Napoli il 15 giugno 2010.

Tale parametro è quello che ci appare più interessante poichè appare subito evidente che il fattore “complessità” non solo non dipende necessariamente dalla dimensione degli oggetti, certamente dipende dal grado di complessità geometrica del manufatto ma, soprattutto, ed è qui il punto di grande interesse, dipende strettamente dallo scopo della rappresentazione.

E' chiaro, infatti, che per descrivere un oggetto geometrico semplice, in teoria occorre operare pochi punti di campionamento, nella maggior parte dei casi questi saranno sufficienti a riprodurre la sua geometria. Se vogliamo rilevare un parallelepipedo, ad esempio, basta misurare la lunghezza degli spigoli, attesa la loro ortogonalità e la planarità delle superfici, indipendentemente dalla dimensione di tali spigoli.



Fig.01 – La complessità geometrica, superficiale, di un manufatto tridimensionale, non dipende necessariamente dalle dimensioni del manufatto, ma la rappresentazione di tale complessità, dipende strettamente dallo scopo della rappresentazione.

Per descrivere, invece, un oggetto reale complesso di forma “organica” o composto da geometrie non euclidee, come può essere, ad esempio una statua o una grotta ecc. sarà necessario operare una ben superiore quantità di misurazioni e punti di campionamento e, anche in questo caso, indipendentemente dalla dimensione.

Ma cosa succede se vogliamo rappresentare un parallelepipedo, o un manufatto di generazione geometrica, come la maggior parte dei beni architettonici, con l’intento di indagarne le geometrie reali e non ideali, non presupponendo a priori, cioè, la planarità delle superfici, l’ortogonalità e la linearità degli spigoli, indagando dettagliatamente la grana materica delle superfici a una scala ravvicinata, analizzando le deformazioni avvenute nel tempo, i discostamenti dalla geometria generatrice, ecc..? cioè tutti quegli aspetti che interessano direttamente la conservazione dei beni architettonici.

Appare chiaro che in questo caso non è più sufficiente campionare i punti di generazione geometrica, ma occorre un campionamento diffuso su tutte le superfici e anche in questo caso indipendentemente dalla dimensione e persino dalla complessità geometrica dell’oggetto, poiché

anche una geometria semplice come un parallelepipedo, studiato sotto questa luce, potrebbe rivelarsi molto più complesso di come appare.



Fig.01 – Forme geometriche organiche necessitano di una grande quantità di punti di campionamento per essere descritte.

Per la Conservazione dei beni architettonici e artistici, dunque, è indispensabile che il rilievo sia condotto operando campionamenti diffusi realizzati con criteri quanto più “oggettivi” possibile, non viziati, cioè, dal pre-giudizio geometrico del rilevatore.

Questo aspetto fa sì che il campo di interesse della conservazione si collochi in un ambito dove la quantità di misurazioni da realizzare è molto elevata e questo indipendentemente dalla complessità geometrica generatrice del manufatto da rilevare,

Appare, a questo punto, molto interessante analizzare quali tecniche di rilevamento rispondono in maniera più aderente a questa specifica esigenza.

Nello spazio cartesiano generato dai due parametri che definiscono gli oggetti del rilevamento: Dimensione (asse delle X) e Complessità (punti/oggetto) (asse delle Y) proposto dal prof. Fregonese, vengono collocati gli ambiti applicativi delle varie tecniche di rilevamento sotto forma di aree. Tali aree esprimono i luoghi dove le relative tecniche risultano più efficaci ai fini del rilevamento, al di fuori di tali ambiti le

stesse tecniche non solo non risultano più efficaci ma la loro applicazione diventa antieconomica.

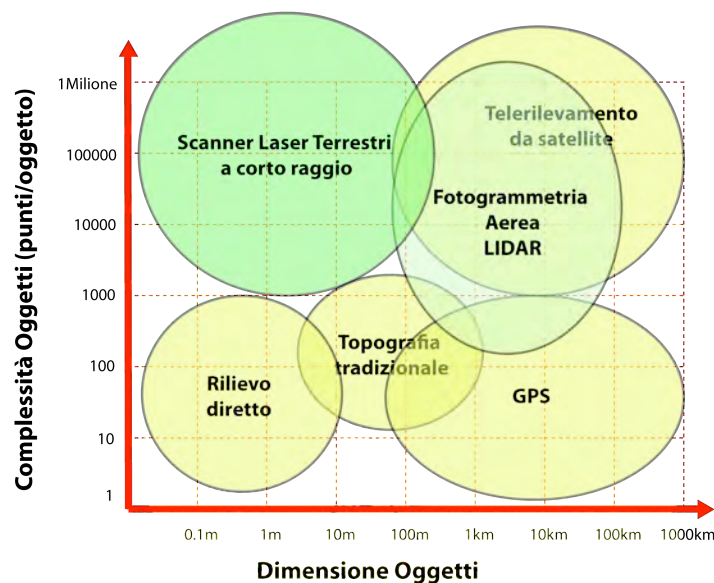


Fig.01 – Ambiti applicativi, grafico tratto dall'intervento del prof. Luigi Fregonese nella giornata di studi sul rilevamento tenuto a Napoli il 15 giugno 2010.

Leggendo tale grafico si può notare, ad esempio, come al di sopra dei mille punti di campionamento, il rilievo diretto è meno conveniente del laser scanner terrestre e anche meno conveniente della topografia tradizionale per oggetti con dimensioni lineari superiori ai 10 metri, ma risulta sicuramente più conveniente in caso di oggetti più semplici che richiedono pochi punti di campionamento e aventi dimensioni ridotte.

Oppure per rilevare dei siti di diversi chilometri di estensione ma di geometria semplice (come un terreno ai fini della definizione di una proprietà catastale) il GPS risulta sicuramente preferibile fino a quando non viene richiesta una maggiore definizione e complessità per la quale è necessario ricorrere alla fotogrammetria aerea o da satellite o al LIDAR, ecc.

Definito tale spazio, a questo punto potremmo collocare, in esso, l'ambito che definisce il campo di interesse della Documentazione dei Beni Culturali.

Tale ambito, coinvolge certamente oggetti di dimensioni variabili da pochi millimetri fino oltre il chilometro di estensione (se si escludono nel

discorso gli studi di livello urbanistico e territoriale) e in quanto a complessità, oggetti che richiedono da alcune decine fino a diversi milioni di punti di campionamento per una loro efficace descrizione.

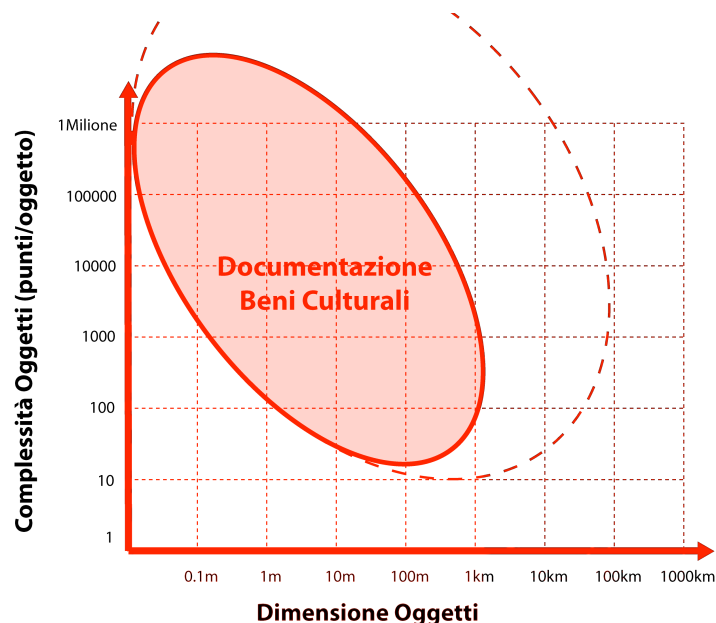


Fig.02 – Ambiti Applicativi, grafico tratto dall'intervento del prof. Luigi Fregonese alla giornata di studi sul rilevamento tenuto a Napoli il 15 giugno 2010.

Se poi si considerano anche lo studio di città e di interi siti allora l'ambito applicativo praticamente si estende quasi all'intero campo possibile.

Tuttavia, restringiamo leggermente il campo all'ambito riguardante specificamente i beni architettonici, comprendendo in esso ciò che riguarda il loro dettaglio fino a considerare siti di poco oltre 1 km di estensione.

Se si sovrappone tale campo con quello applicativo delle varie tecniche di rilievo, è facile notare come, sebbene l'ambito della conservazione comprenda gli ambiti applicativi di tutte le varie tecniche, ve ne siano alcune che risultano particolarmente efficaci e aderenti, più delle altre, alla maggior parte delle esigenze di descrizione e conoscenza metrica dei beni culturali.

Tali tecniche sono in particolar modo quella dei Laser Scanner Terrestri a corto raggio (o più in generale delle nuvole di punti) e quella della topografia tradizionale, pur rimanendo, in determinati ambiti estremi,

ancora efficaci tecniche come il rilievo diretto, il GPS e la fotogrammetria aerea, da satellite e LIDAR.

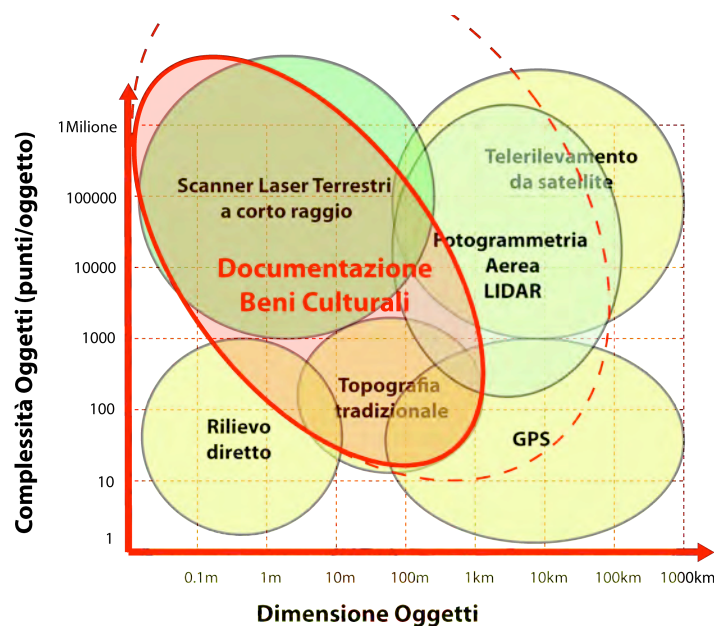


Fig.04 – Ambiti applicativi, grafico tratto dall'intervento del prof. Luigi Fregonese nella giornata di studi sul rilevamento tenuto a Napoli il 15 giugno 2010

In tali grafici presentati dal prof. Fregonese, tuttavia, vi sono due grandi “assenti” e cioè: la fotogrammetria “Close-Range” e una recentissima tecnica di derivazione fotogrammetrica che viene oggi denominata “Photo scanning”.

Vedremo nei successivi capitoli come queste due tecniche, pur essendo strettamente legate sono negli esiti molto diverse, una (la “close range fotogrammetry” cioè la fotogrammetria cosiddetta “dei vicini”) ha avuto larga diffusione nei beni culturali soprattutto nel secondo dopoguerra ed è una evoluzione della fotogrammetria aerea e come questa capace di restituire in modo semi automatico delle ortofotografie e misure di elementi notevoli derivate, e l'altra il “Photo scanning”, anch'essa a corto raggio ma di nuovissima concezione, capace di restituire da una semplice tripletta di prese fotografiche calibrate e associate, una nuvola di punti dettagliata dell'oggetto in modo automatico al pari della tecnica Laser scanner.

La Close-Range Photogrammetry, che, come vedremo più avanti, riguarda oggetti situati ad una distanza inferiore a 300 m circa dalla

camera da presa fotogrammetrica (al di sopra dei 300 metri si parla di fotogrammetria dei lontani, Il limite dei 300 m, infatti, costituisce anche la delimitazione della quota di sicurezza per le riprese da aeromobile), oggi sta tornando a nuova vita grazie all'introduzione del digitale che ha permesso di sorpassare il limite imposto del costo proibitivo delle attrezzature analogiche che servivano per realizzarla.

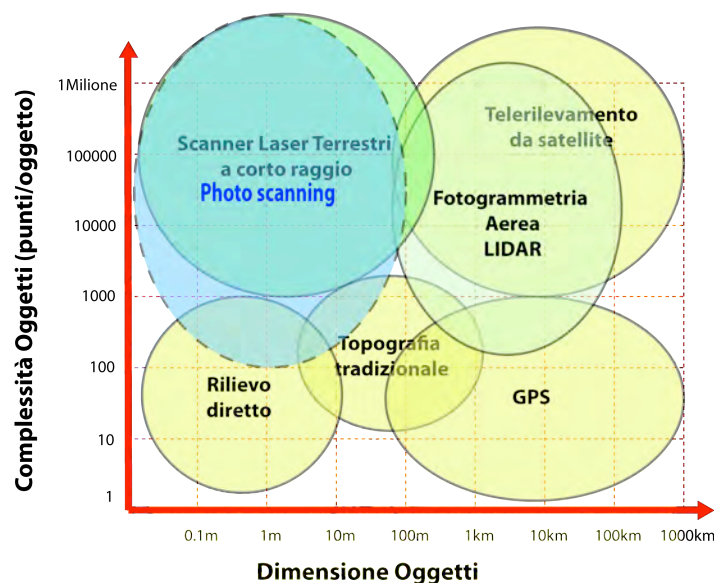


Fig.04 – Ambiti applicativi, grafico tratto dall'intervento del prof. Luigi Fregonese nella giornata di studi sul rilevamento tenuto a Napoli il 15 giugno 2010 modificato con l'ambito applicativo delle nuove tecniche di Photo scanning.

Grazie a camere digitali calibrate e softwares specifici, infatti, è possibile oggi con poca spesa e lavoro e soprattutto con competenze non specifiche, ottenere prodotti fotogrammetrici che vanno dalle orto-foto alle vere e proprie nuvole di punti. Analizzeremo tale tecnica più avanti, quello che qui interessa, invece, è colmare la lacuna inserendo anche l'ambito applicativo di tali tecniche all'interno del grafico per un più completo panorama.

Ebbene non è facile definire tale ambito, poichè il limite applicativo in qualche modo coincide con quello della tecnica fotografica, tuttavia, se si parla di Photo scanning, sappiamo che le prese fotografiche devono essere effettuate entro una distanza limitata dall'oggetto (che può essere intorno ai 10m).

Questo significa che sebbene le nuvole di punti prodotte siano assimilabili a quelle della tecnica laser scanner, il campo applicativo è più limitato ad oggetti di dimensioni non troppo estese altrimenti sarebbero necessarie troppe prese fotografiche e l'applicazione della tecnica diverrebbe anti economica.

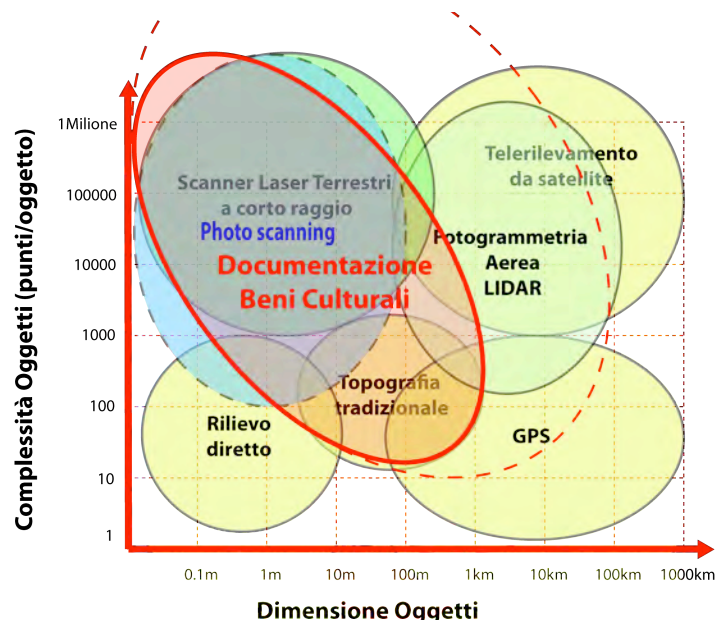


Fig.05 – Ambiti applicativi, grafico tratto dall'intervento del prof. Luigi Fregonese nella giornata di studi sul rilevamento tenuto a Napoli il 15 giugno 2010 modificato con l'ambito applicativo delle nuove tecniche di Photo scanning.

C'è da dire che, come vedremo, anche per il Photo scanning si stanno sviluppando tecniche di ripresa che consentono di effettuare rilevamenti su furgoncini (Zscan Dynamic) o su palloni aerostati (Flyscan), tuttavia sono tutt'ora espedienti sperimentali di cui si hanno a disposizione pochi dati, pertanto in questo discorso ci limiteremo ad analizzare la versione attuale del Photo scanning (zscan).

Volendo tracciare l'area applicativa del Photo scanning, dunque, dovremmo assimilarla a quella del Laser scanning terrestre ed anzi estesa verso il basso, per quanto riguarda la complessità degli oggetti, grazie alla maggiore economicità e convenienza del sistema, tuttavia tale area sarà leggermente più limitata in quanto ad estensione e dimensione.

CAP I

Tecniche e strumenti avanzati per la conoscenza dell'architettura

Premessa

Nel seguente capitolo si proverà a tracciare un panorama delle più attuali tecnologie per la conoscenza metrica, oggi disponibili, utili ai fini della conservazione dei Beni Culturali. Il nostro interesse è rivolto, in modo specifico, a quelle tecnologie che, in tale panorama, perseguono l'obiettivo dell'automazione sensoria, ovvero dell'acquisizione di dati metrici e qualitativi del reale attraverso logiche strumentali indipendenti sia dall'oggetto del rilevamento sia dalle valutazioni dell'operatore sull'oggetto da rilevare.

Questa scelta esclude dall'analisi tutte quelle tecniche che, come il rilievo diretto o la topografia tradizionale o con GPS, ecc., seppur condotte con strumenti evoluti e sofisticati, comportano una scelta a priori di quali punti campionare e cioè un modello logico "a priori" prefigurato su cui operare le misure.

Le ragioni e i limiti di tale scelta sono stati ampiamente trattati nel capitolo precedente ma, in sintesi, potremmo condensarli in due fondamentali esigenze che riguardano strettamente la Conservazione dei Beni Culturali: l'istanza di "oggettività" del dato raccolto e quella della ricerca, attraverso il "misurare", dell'imprevisto e dell'invisibile, elementi che nessun modello aprioristico può contenere.

Va sottolineato, ancora una volta, che pur se si considerano, non senza una certa forzatura, logiche strumentali indipendenti dall'oggetto del rilievo e dall'operatore, non è però possibile considerare neutrale ne' la scelta stessa della specifica tecnologia da utilizzare, (che sarà, contrariamente a quanto affermato, proprio in funzione dell'oggetto del rilevamento e dell'obiettivo che ci si pone), ne' tanto meno la scelta di quale, delle possibili procedure operative, adottare in funzione della tecnologia che si è scelto di utilizzare.

Per tale ragione una delle finalità principali di tale rassegna sarà quella di analizzare quali elementi sono determinanti per operare tali scelte nel modo più idoneo. Scelte che, ricordiamo, devono competere innanzitutto all'architetto restauratore, in quanto dipendono dagli obiettivi del rilevamento e cioè da quella "intenzionalità utilizzatrice" che, abbiamo visto in precedenza, deve orientare e permeare l'intero progetto di conoscenza (affinchè si possa parlare di "conoscenza" e non di "informazione") e che deve coincidere, nel nostro caso, con l'obiettivo della conservazione dei valori, finalità primaria del progetto di restauro.

Il comune denominatore delle tecnologie che tratteremo, dunque, è, in vari gradi, "l'automazione mensoria", obiettivo che viene oggi realizzato, nella maggior parte dei casi, attraverso la proiezione, sull'oggetto del rilevamento, di griglie predeterminate che campionano le superfici in maniera del tutto casuale senza gerarchie aprioristiche, misurando, cioè, tutto ciò che la griglia proiettata incontra casualmente sull'oggetto.

Appare chiaro che, in questo modo, si campiona tutto, anche aree che in base a dei modelli predeterminati non verrebbero prese in considerazione e che magari, proprio per questo, potrebbero rivelare elementi imprevisi o non immediatamente visibili; il rovescio della medaglia è che non vengono misurati direttamente proprio quei punti che in un rilievo tradizionale verrebbero considerati come "notevoli", come ad esempio spigoli, linee di discontinuità, cuspidi ecc.

Questo da un lato rappresenta un problema per la rappresentazione tradizionale, fondamentalmente di tipo bidimensionale, soprattutto allorquando si considerano gli

oggetti come solidi e forme di tipo geometrico euclideo (cosa che come sappiamo non esiste nella realtà), dall'altro rappresenta una ricchezza straordinaria quando l'interesse conoscitivo si sposta dalla geometria teorica e immaginata dal progettista alla geometria effettiva e reale degli oggetti, considerati nella loro tridimensionalità, forma reale e materialità, esigenza che, come sappiamo, è primaria nella conservazione.

A ben vedere, le stesse linee di discontinuità sono elementi di astrazione del tutto teorici che non esistono nella realtà concreta degli oggetti, ben difficilmente uno spigolo è nella realtà una linea geometrica astratta, più lo si analizza in maniera ravvicinata, più ci si rende conto che quello spigolo è semmai una superficie di raccordo, anche se a curvatura molto stretta, e in quanto tale, il suo campionamento reale dipenderà unicamente dal grado di risoluzione dello strumento col quale si effettua il rilevamento. In quest'ottica anche utilizzando una tecnica mensoria tradizionale, per quanto evoluta, sarà sempre un arbitrio decidere quali punti, di quelle superfici di raccordo, possono essere considerati appartenenti alla linea teorica di discontinuità che si vorrebbe campionare.

In ogni caso gli elementi notevoli, le linee di discontinuità, intesi come elementi teorici, possono sempre essere ricavate a posteriori, seppur a costo di elaborate manipolazioni dei dati.

Le tecnologie di nostro interesse, dunque, hanno la peculiarità di fornire all'operatore una nuova e diversa tipologia di dati, un nuovo "prodotto", per così dire, che è al tempo stesso non solo portatore di informazioni eterogenee (informazioni metriche, radiometriche, colorimetriche ecc.) ma anche di una nuova concezione del "misurare", che chiede all'operatore nuovi tipi di elaborazioni affinché, da tale insieme di dati di tipo strumentale non-interpretativo, possa scaturire una rappresentazione, un modello interpretativo che, abbiamo visto, costituisce "la conoscenza metrica" del manufatto e, al tempo stesso, l'asse portante di tutto il sistema informativo da cui scaturirà la conoscenza del bene culturale, primo fondamentale stadio del progetto di conservazione.

Tale nuovo “prodotto” o insieme di dati viene detto “nuvola di punti” ed è il prodotto comune di tutte le tecnologie che prenderemo in considerazione.

Come si ottengano tali nuvole di punti è la questione successiva. Tale prodotto, infatti, è oggi ottenibile in una varietà molto ampia di modi e attraverso gli strumenti più diversi.

Spesso si associano le nuvole di punti al laser scanner, strumento che da una decina di anni è ormai entrato stabilmente e prepotentemente nel panorama operativo del rilievo.

Tuttavia, osservando il panorama attuale, è facilmente riscontrabile come la ricerca tecnologica si stia indirizzando chiaramente verso il superamento della tecnologia laser, questo per varie ragioni di cui quelle principali sono l'eccessivo costo e la complessa gestione e maneggevolezza delle strumentazioni (sebbene gli ultimi strumenti a laser stanno rapidamente superando tali limiti).

Come vedremo, oggi è possibile acquisire “nuvole di punti” attraverso non soltanto gli impulsi laser, nelle varie forme tecnologiche, ma, pur con varie limitazioni, anche attraverso la luce proiettata (o meglio strutturata) non laser o attraverso la fotografia (la fotogrammetria) e, in un futuro prossimo, anche attraverso il video.

La tendenza è, dunque, quella di riuscire ad acquisire nuvole di punti, sempre più dense, precise, pulite e ricche di informazioni con strumenti e metodologie sempre più economiche, rapide e di facile gestione, alla portata di tutti. Non è lontano il giorno in cui si andrà a rilevare un ambiente con qualcosa di molto simile ad una piccola videocamera (vedi “camere ToF”) che con la semplicità di una ripresa video riuscirà ad acquisire una nuvola di punti già georeferenziata senza la necessità di alcuna operazione di “registrazione” o allineamento.

Tuttavia la realtà attuale è ancora molto diversa e variegata, ogni tecnologia, oggi, ha dei limiti applicativi intrinseci che la rende più o meno efficace a seconda delle situazioni, ciò impone una perfetta conoscenza di tali limiti e soprattutto impone la

pratica dell'integrazione delle varie tecniche di misura laddove l'una può colmare le lacune dell'altra.

Una integrazione, attualmente oggetto di diverse sperimentazioni (vedi il rilievo del Teatro Nea Paphos) è, ad esempio, quella tra il "Laser scanning" e la fotogrammetria, o più in particolare il cosiddetto "Photo scanning", grazie a una certa complementarità tra le due tecniche che rende possibile coprire molte delle problematiche l'una dell'altra e rende possibile, attraverso dei software, ad esempio, l'estrazione semi automatica delle linee di discontinuità e dei punti notevoli.

La più importante questione successiva all'acquisizione delle nuvole di punti, infatti, è relativa a quali prodotti ricavare da tali dati, affinché siano utili al progetto di conservazione o per lo meno più utili di quanto non lo siano stati fino ad ora i prodotti forniti dal rilievo diretto o topografico.

Ci si domanda, cioè, se, data la natura completamente diversa dell'approccio sensorio di tali tecnologie e del loro prodotto informativo, è ancora lecito aspettarsi gli stessi prodotti restituiti a cui siamo abituati o non si debba pensare a nuove forme di rappresentazione che sfruttino al meglio le nuove caratteristiche e i nuovi portati delle "nuvole di punti"?

Appare ovvio che anche la rappresentazione sta assumendo nuove forme, quella più evidente è direttamente connessa alla natura intrinsecamente tridimensionale dei dati raccolti e dei prodotti della loro elaborazione.

E' oggi possibile, con relativa semplicità e in modo semi automatico, ricavare dal dato tridimensionale le fondamentali rappresentazioni bidimensionali mongiane a cui siamo abituati (piante sezioni, prospetti ecc.). Tuttavia tali rappresentazioni, nonostante la loro indispensabilità, cominciano ad apparire riduttive rispetto alle potenzialità espresse e ci si comincia a chiedere se non sia più utile ripensare i passaggi operativi della progettazione in modo da operare e progettare direttamente nello spazio virtuale tridimensionale riprodotto dagli stessi dati.

D'altronde le stesse rappresentazioni bidimensionali vengono oggi prodotte attraverso strumenti informatici e il prodotto cartaceo non è che l'ultimo stadio di un percorso condotto quasi interamente in virtuale.

Da questo punto di vista lo scenario attuale, sebbene ancora acerbo, è piuttosto stimolante e fa intravedere la possibilità di costruire mondi virtuali in cui è possibile operare quasi in prima persona, attraverso quella che la terminologia attuale chiama "tecnologia immersiva" mediante la quale, grazie all'uso di occhiali, guanti o tute speciali, è possibile "immergersi" interagendo direttamente con lo spazio virtuale.

Questo è già oggi possibile anche se sperimentato a fini ludici, ma nessuno impedisce di pensare che un domani non troppo lontano sarà possibile interagire in tal modo anche a fini scientifici e professionali progettando e simulando interventi in tempo reale in spazi virtuali perfettamente riprodotti e percepiti in scala 1:1.

Il prodotto nuvola di punti già consente oggi di generare modelli tridimensionali scientificamente attendibili dello spazio materiale, non resta che trovare il modo più efficace per fruire ed interagire, in maniera altrettanto scientifica, con esso.

1.1 - La nuvola di punti: nuove frontiere.

Come detto in precedenza “La nuvola di punti” rappresenta il prodotto numerico comune di base restituito in automatico da tutte le tecnologie sensorie che consideriamo in questo studio.

Per poter comprendere appieno cos'è una nuvola di punti e cosa rappresenta in termini di innovazione nel campo del rilievo e della conoscenza dei manufatti storici, dunque, occorre definirla ed analizzarla innanzitutto da un punto di vista matematico e numerico.

Abbiamo già osservato come la conoscenza scientifica abbia la necessità di trasformare la realtà in modelli numerici quantitativi, oltre che qualitativi, affinché tale modello possa essere elaborato in termini di progetto. Alla fine di tale processo intellettuale, qualitativo e quantitativo, però, tale modello dovrà confrontarsi di nuovo con la realtà (che non è numerica) attraverso l'azione reale dell'intervento.

Se il modello numerico-quantitativo che riusciamo ad estrarre dalla realtà non è sufficientemente aderente alla realtà stessa, anche il progetto e, infine, l'intervento non saranno adeguati agli scopi che ci si era prefissi né tanto meno aderenti alla realtà su cui si vuole intervenire.

E' dunque cruciale comprendere che è proprio attraverso i numeri che ci restituiscono gli strumenti di misura che noi possiamo trasformare il continuo reale (non-numerico) in modello numerico-quantitativo, ed è proprio dall'accuratezza di tale trasformazione che dipende l'aderenza del nostro modello alla realtà e quindi l'adeguatezza del progetto, in quanto operazione scientifica e intellettuale effettuata su quel modello.

Da un punto di vista strettamente matematico, la “nuvola di punti” è un insieme finito di vettori di uno sotto-spazio vettoriale n -dimensionale appartenente al campo dei numeri reali.

\mathbf{R}^n

A ogni elemento dell'insieme, ovvero a ogni vettore P , corrispondono dunque n scalari ($S_1, S_2, \dots S_n$) che rappresentano le n informazioni che lo strumento, in base alla specifica tecnologia, riesce ad acquisire relativamente ad un singolo punto appartenente alla superficie di un oggetto reale che lo strumento è chiamato a misurare.

$\mathbf{P}(S_1, S_2, \dots S_n)$

Analogamente, tutti gli altri vettori dell'insieme conterranno anch'essi n informazioni relative ad altri punti campionati sullo stesso oggetto.

Le informazioni scalari che tali vettori contengono devono, dunque, consentire innanzitutto l'individuazione univoca di tali punti nello spazio, pertanto i primi 3 degli n scalari contenuti in ciascun vettore della nube sono in genere le 3 coordinate cartesiane (o polari) del punto campionato in un determinato sistema di riferimento comune per tutti i vettori della nube, questo fa sì che ogni punto è sempre individuato univocamente dal proprio vettore posizione in quel sistema di riferimento.

Pertanto qualunque sia il sistema tecnologico che stiamo considerando, affinché il prodotto vettoriale che restituisce possa essere considerato una “nuvola di punti”, deve contenere come informazione minima, di base, un vettore posizione tridimensionale che rappresenta l'informazione “metrica” del punto.

Ne consegue che la nuvola di punti, in quanto sottospazio vettoriale \mathbf{P}^n può avere come dimensione minima $n=3$, e questo ci fa capire come tale prodotto tensoriale sia intrinsecamente un prodotto tridimensionale e, a differenza di altre metodologie di rilevamento, richiede di essere trattato nella sua tridimensionalità.

Vedremo più avanti quali sono le implicazioni di tale questione soprattutto in termini di rappresentazione.

Il primo aspetto importante da considerare, è che le nuvole di punti sono insiemi **finiti**, dunque, a prescindere dal numero dei punti individuati dai vettori dell'insieme e dal tipo di sistema tecnologico utilizzato, questi punti saranno campionati sulla superficie dell'oggetto in modo discreto.

L'insieme “nuvola di punti”, dunque, non può rappresentare in nessun caso una superficie continua, pur campionando un continuo.

L'aspetto determinante da prendere in considerazione, anche da un punto di vista critico, è che, sebbene le nuvole di punti rappresentano una selezione dei punti che è possibile campionare su una superficie continua, non essendo possibile campionare tutta la continuità della superficie reale, per quanto densa possa essere la nube, tale selezione è assolutamente “casuale”, poiché unicamente dipendente dalla logica di acquisizione dello strumento e, quindi, indipendente tanto dalla morfologia dell'oggetto, tanto dalle scelte dell'operatore, il quale non può in nessun modo decidere di campionare in modo gerarchico punti “notevoli” piuttosto che altri sulla superficie reale.

Infatti, come vedremo, la scelta dei punti di campionamento viene effettuata in automatico attraverso la proiezione di una griglia predeterminata sull'oggetto e la conseguente lettura o analisi, da parte dello strumento, del segnale di ritorno di quella proiezione.

Lo strumento, cioè, a seconda della tecnologia specifica, proietta sull'oggetto da rilevare una serie di impulsi, che possono essere impulsi laser oppure dei codici luminosi o altro, e, in seguito, legge e analizza il ritorno del segnale relativo a ciascuno dei punti dell'oggetto che sono stati investiti casualmente dalla proiezione di tale griglia.

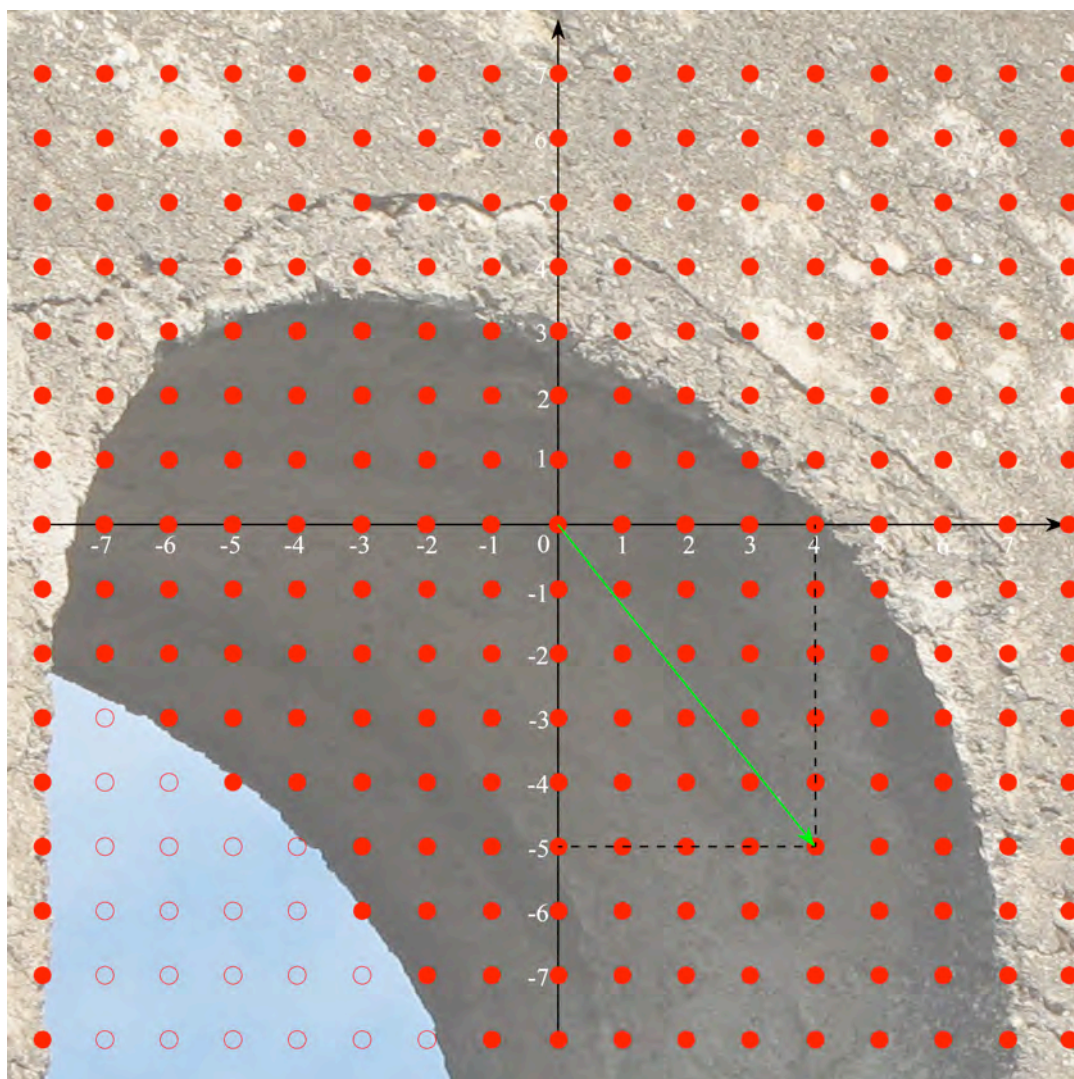


Fig.01 – Esempio schematico di griglia proiettiva di un Laser scanner terrestre su un oggetto architettonico: lo strumento proietta sull'oggetto una serie di spot laser secondo una griglia regolare predeterminata, indipendente dalla geometria dell'oggetto e di passo regolabile in base ai limiti dello strumento e alle finalità del rilievo. Per ciascuno di tali punti proiettati, la cui posizione all'interno della griglia proiettiva è nota, lo strumento riesce a leggere l'informazione di distanza di tale punto proiettato sulla superficie rispetto all'origine del riferimento interno dello strumento. In tal modo si individuano le coordinate spaziali, rispetto al sistema di riferimento interno, di tutti i punti della superficie dell'oggetto che vengono investiti casualmente dalla proiezione di tale griglia.

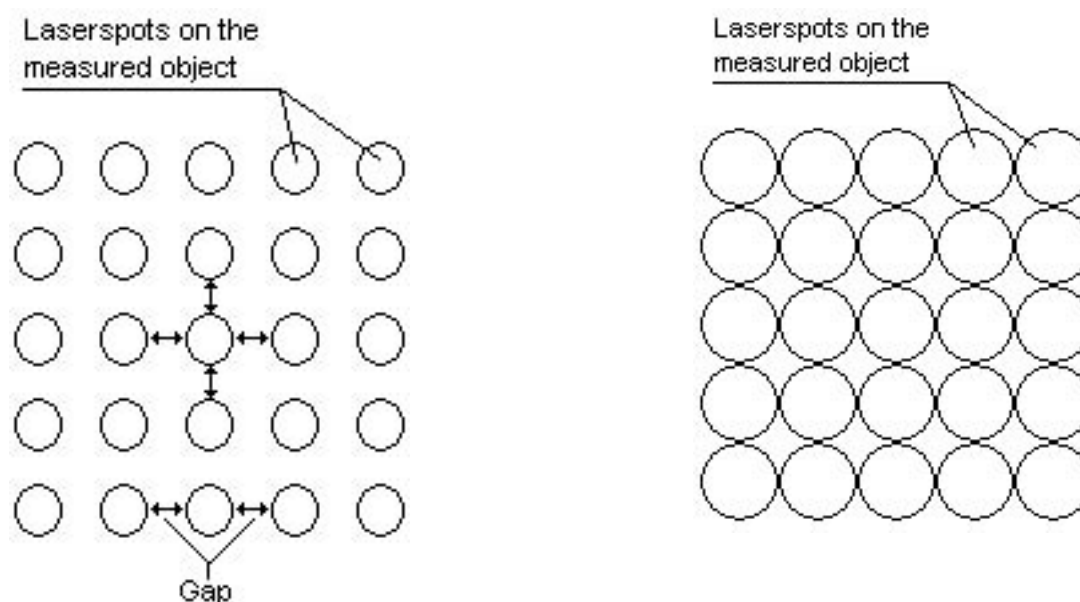


Fig.02 – Esempi di griglie di scansione con densità e divergenze diverse. L'ampiezza del “gap” di distanza tra i singoli laser spots (che determina la densità della nube), e l'ampiezza della divergenza del raggio laser (rappresentata dall'ampiezza del raggio dei cerchi), insieme all'errore sulla misura di distanza, dipendono strettamente dalla distanza dello scanner dall'oggetto, delle condizioni ambientali e dalla tecnologia che produce la nuvola di punti e quindi dai parametri che tale tecnologia consente di modificare.

Se è vero che non si possono decidere a priori quali punti campionare, è però possibile decidere la “densità” della nube, sia in termini di scelta della tecnologia da utilizzare (a maggiore o minore risoluzione di campionamento), sia in termini di configurazione dei parametri di acquisizione, nei limiti che offre il sistema tecnologico che si sta utilizzando.

Maggiore sarà la densità delle misurazioni, infatti, maggiore sarà la probabilità di misurare i punti che realmente occorrono. Tuttavia la densità delle informazioni va calibrata con attenzione poiché ad una maggiore densità della nube corrisponderà soprattutto una maggiore quantità di dati, spesso ridondanti, spesso non direttamente utili e in ogni caso non gestibili immediatamente in forma “grezza” così come restituiti dallo strumento.

Ad un aumento di densità, infatti, corrisponderà sempre un aumento esponenziale del numero di dati da elaborare e, quindi, del dispendio di risorse che occorre per

elaborarli, sia in termini di tempo che in termini di numero di operatori e di maggiori capacità dell'hardware, il che si traduce sempre in un maggior dispendio economico. Altra cosa che va considerata attentamente, è che, nella maggior parte dei casi, la densità delle informazioni e l'ampiezza dell'intorno d'incertezza della misura, dovuto alla divergenza dei raggi laser o luminosi, sono funzione della distanza dello strumento dall'oggetto e dell'incidenza con cui tale proiezione colpisce la superficie. Infatti, considerando il cono proiettivo che scaturisce dallo strumento, la proiezione della griglia tenderà ad allargarsi nel passo quanto più l'oggetto è lontano e avrà una densità variabile a seconda dell'inclinazione della superficie rispetto alla posizione dello scanner, pertanto non si può ottenere una griglia di misurazioni uniforme, e, se non si calibra attentamente il passo di risoluzione in base all'oggetto che si sta rilevando, in certe occasioni le informazioni risulteranno o eccessivamente dense o eccessivamente rade, cosa che in entrambi i casi potrebbe rivelarsi un problema.

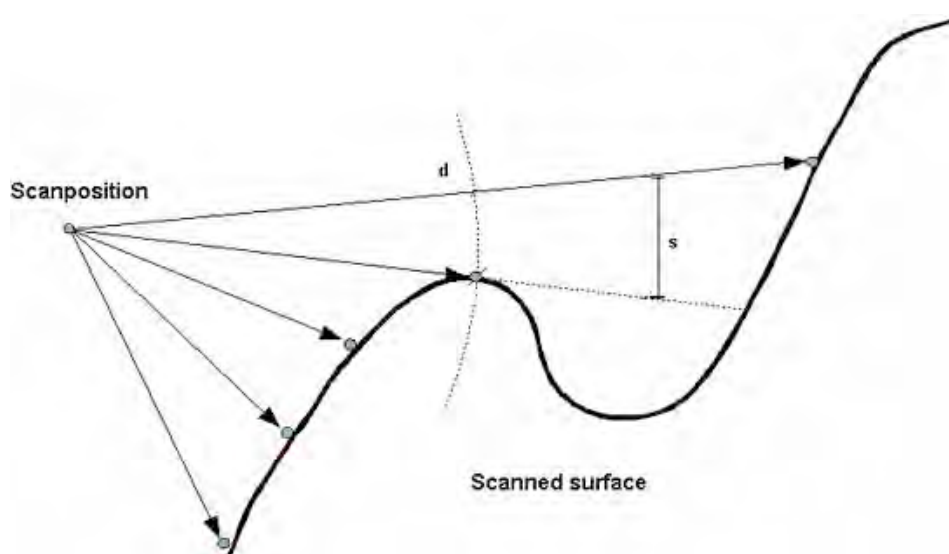


Fig.03 – La densità della nuvola di punti dipenderà anche dalla distanza della posizione di scansione dalla superficie scansionata e dall'andamento morfologico di tale superficie rispetto alla sorgente proiettiva.

Se la precisione sulla singola misura, allora, è l'errore sulla misura della distanza calcolata per ogni impulso ed è (come vedremo in seguito) generalmente compresa, a seconda dello strumento utilizzato, tra 1-2 mm (per un laser scanner architettonico) e circa 5 mm (per uno scanner topografico); la divergenza, linearmente dipendente dalla distanza, è invece responsabile della grandezza dello "spot", ovvero la porzione di terreno (o dell'oggetto) illuminata dal fascio laser; il passo angolare governa invece il passo di campionamento dei punti della griglia, cioè la densità della nuvola di punti e cresce linearmente con la distanza.

Questi tre fattori contribuiscono insieme a determinare la risoluzione effettiva del rilievo laser, cioè la risoluzione della nuvola di punti che si ottiene in seguito ad una scansione, intendendo la risoluzione come la capacità di distinguere due elementi differenti lungo le linee di scansione.

In che modo ed in quale misura essi entrino e si combinino nel complicato calcolo della risoluzione finale è un argomento molto discusso e ad oggi non chiaramente risolto. Secondo alcuni autori il fattore dominante è la divergenza del fascio [Licthi and Jamtsho, 2006], per altri la risoluzione va di pari passo con la scelta del passo di campionamento [Iavarone, 2002; Optech, 2010] mentre per altri ancora ci sono delle complicate interazioni [Ling et al., 2008].

Di recente, a questo proposito, si sono proposte alcune sperimentazioni al fine di trovare e definire una relazione empirica tra passo di campionamento, risoluzione richiesta e distanza di lavoro nell'ambito dell'utilizzo degli scanner Laser.

Una di tali sperimentazioni è stata portata avanti dall'INGV di Bologna utilizzando lo scanner ILRIS3D. In tale esperimento effettuato si è, appunto, cercato di determinare in modo empirico la massima risoluzione ottenibile in relazione alla distanza di stazione.

In particolare, ammesso un limite inferiore pari ad $D/3$, e cioè assumendo che non sia possibile distinguere elementi di tale dimensione o al di sotto di essa, si è ottenuta la relazione lineare:

$$\max ss = TS * (0.9 - 0.008 * r(m))$$

in cui ss è il passo di campionamento, $max\ ss$ è la massima dimensione del passo di campionamento ancora efficace nell'osservazione di un dettaglio TS ed r è la distanza tra lo strumento e la superficie osservata. I risultati si riferiscono alle distanze di lavoro comprese tra i 25 m ed i 100 m, e si prevede di ampliare l'esperimento mediante l'utilizzo di altri target (di dimensioni maggiori) per coprire la distanza di lavoro tra i 100 m ed 1 km.

La conoscenza della risoluzione ottenibile ad una determinata distanza e soprattutto, la conoscenza del massimo passo di campionamento accettabile al fine di ottenere il dettaglio richiesto nella nuvola di punti, permette sia di pianificare delle efficaci campagne di misura, che di ridurre i tempi necessari al rilievo, con grande risparmio di tempo e lavoro.

Questo fattore rappresenta, dunque, un primo chiaro esempio del fatto che, se da un lato si può ritenere vero che la nuvola di punti prescinde dalle scelte dell'operatore e dalla realtà dell'oggetto, in riferimento alla scelta gerarchica dei punti da campionare sull'oggetto, tuttavia, nell'attuale panorama tecnologico, ancora acerbo e in continua evoluzione, appare ancora una chiara la forzatura affermare la totale indipendenza di tali tecniche dalle scelte dell'operatore e dalle caratteristiche dimensionali, morfologiche e qualitative dell'oggetto da rilevare.

Abbiamo già osservato come la nuvola di punti sia un insieme di vettori appartenenti a uno spazio n -dimensionale di dimensione minima $n=3$, poiché ciascun vettore dell'insieme, a prescindere dal numero n di scalari in esso presenti, deve contenere necessariamente, per definizione, almeno il vettore posizione di un punto appartenente alla superficie dell'oggetto che si sta rilevando, rispetto a un riferimento cartesiano tridimensionale locale.

Quando la dimensione dell'insieme è proprio $n=3$, la nuvola di punti può essere definita "semplice".

La nuvola di punti semplice, dunque, coincide con l'insieme tridimensionale dei vettori posizione dei punti campionati dallo strumento in una determinata posizione di scansione, e la nube si presenterà nella forma:

$$P(x, y, z)$$

o in coordinate polari:

$$P(r, q, f)$$

Pertanto il vettore:

$$P_i(x_i, y_i, z_i)$$

rappresenta la posizione nello spazio del punto i -esimo campionato sulla superficie dell'oggetto misurato con uno degli strumenti che analizzeremo nel nostro studio, ad esempio uno scanner laser.

Le coordinate di tutti i punti della nuvola sono, dunque, inizialmente riferite ad un sistema di riferimento tridimensionale locale la cui origine si fa coincidere in genere col punto proiettivo o ricettivo dello strumento, mentre l'orientamento degli assi coinciderà con le inclinazioni e le direzioni degli assi del medesimo strumento.

Se, ad esempio, lo strumento è uno scanner laser, generalmente il sistema locale è indicato col termine SOCS ("Scanner's Own Coordinate System").

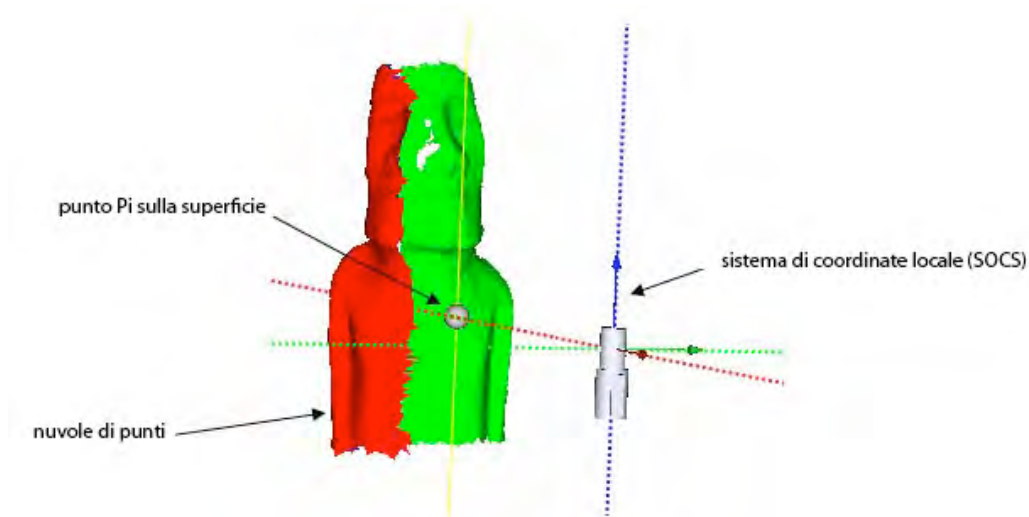


Fig.04 – Ogni punto della nuvola di punti è individuato attraverso un sistema di coordinate locali solidale allo strumento che effettua la misurazione

Dunque, in termini non formali, ogni vettore della nube di punti, inizialmente, rappresenta la posizione di un punto misurato sulla superficie campionata, rispetto alla posizione dello strumento che ha effettuato quella misurazione.

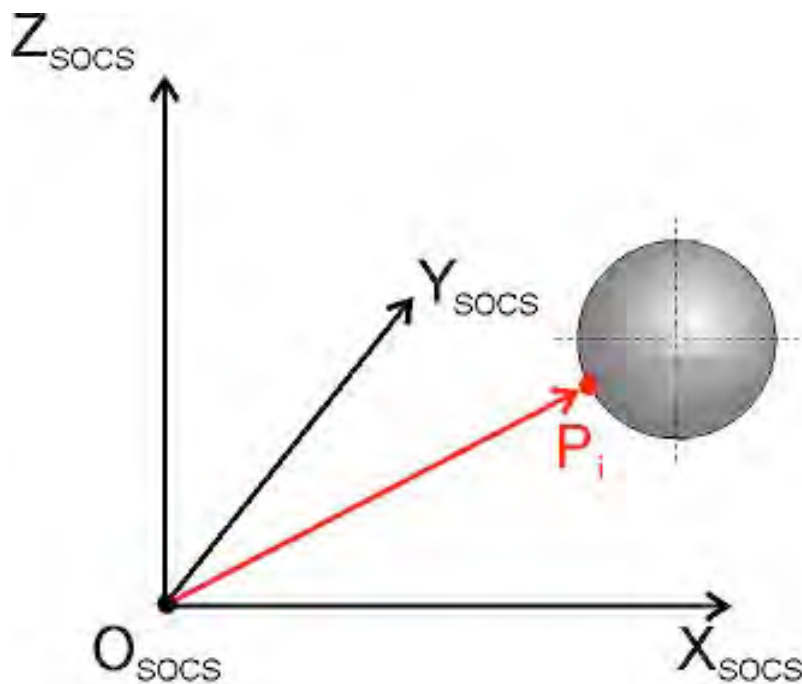


Fig.05 – Ogni punto della nuvola individua un punto sulla superficie dell'oggetto attraverso un vettore posizione appartenente al sistema di coordinate locali della specifica posizione di scansione (SOCS).

Per effettuare un rilievo completo di un oggetto complesso, però, non è quasi mai sufficiente una sola posizione di scansione, in quanto le parti che per una qualsiasi ragione non sono visibili allo strumento, e che per tale motivo non possono essere colpite dalla proiezione degli impulsi, non saranno rilevate da quella posizione. E' necessario quindi realizzare altre misurazioni da posizioni differenti.

L'insieme delle posizioni di misurazione necessarie a realizzare un rilevamento completo dell'oggetto sarà chiamato convenzionalmente "progetto".

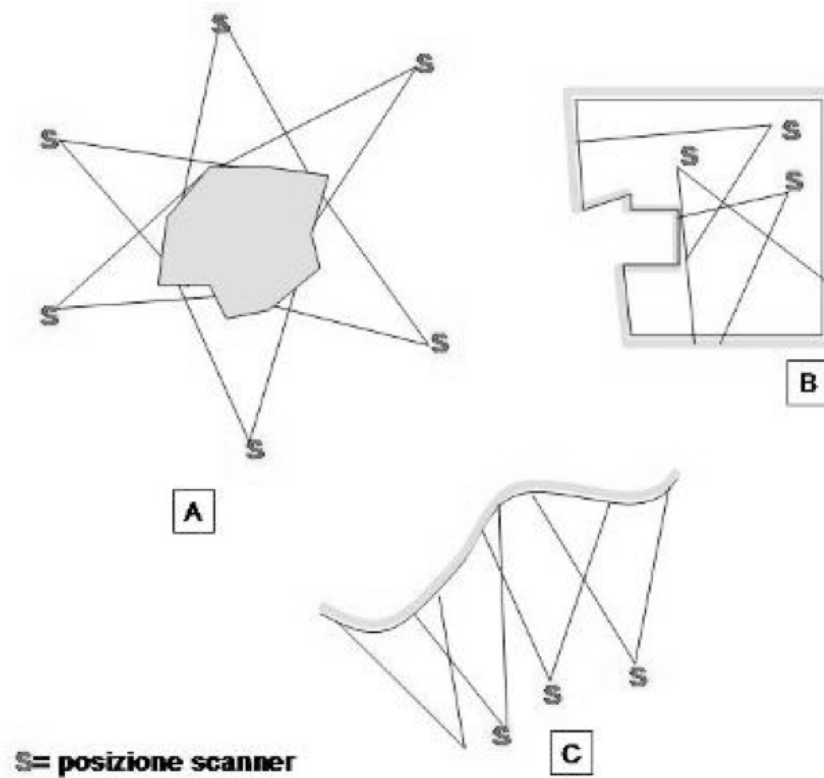


Fig.06 – Progetti di rilevamento con laser scanner; A: progetto completato correttamente con 6 posizioni di scansione; B: Progetto incompleto (non tutte le superfici risultano campionate dalle 3 posizioni scelte); C: progetto completato in 4 posizioni di scansione di cui almeno 2 ridondanti (poteva essere completato in 2 scansioni).

Il primo problema da affrontare, dunque, è che nonostante l'oggetto del rilievo sia unico, il progetto inizialmente non si presenta come un sistema di misurazioni omogenee, poiché sarà composto da un certo numero di nuvole di punti prese da posizioni differenti, ciascuna referenziata ad un sistema di coordinate locali differente l'uno dall'altro.

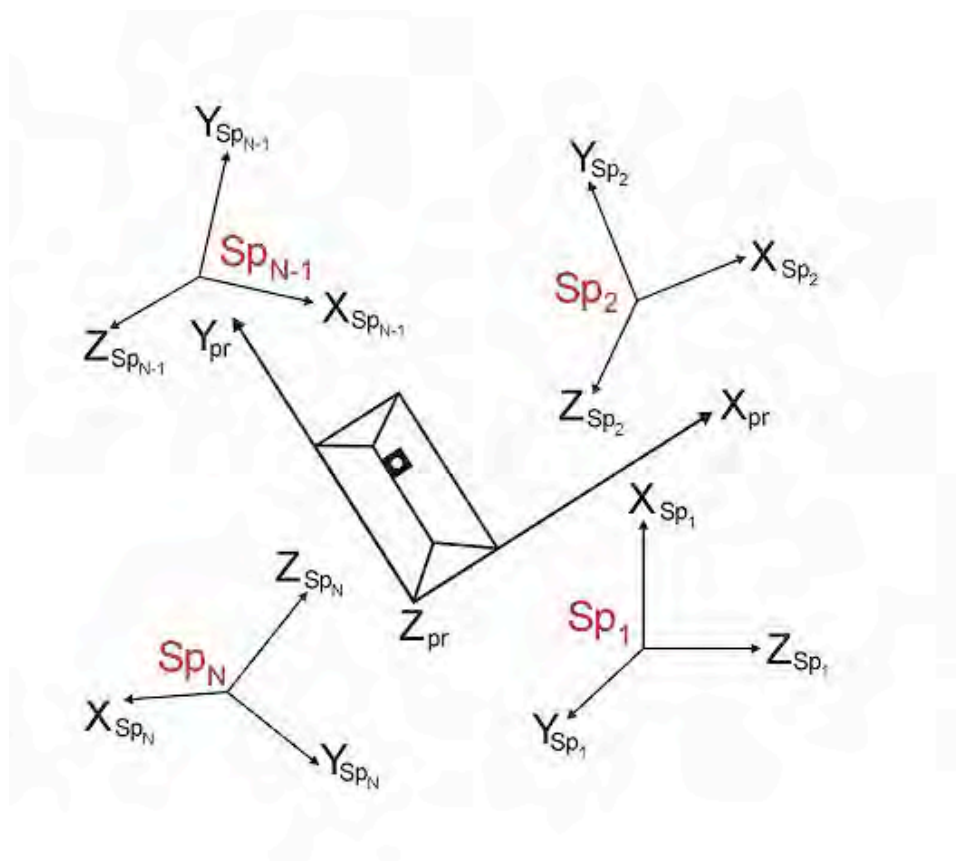


Fig.07 – Sistemi di riferimento locali e sistema di riferimento del progetto.

Per rendere il progetto omogeneo, occorre referenziare tutte le nuvole di punti acquisite nelle varie posizioni di scansione, ad un unico sistema di coordinate non più vincolato alla posizione dello strumento bensì vincolato all'oggetto del rilievo, ovvero al progetto.

Tale sistema di coordinate unico, infatti, viene convenzionalmente chiamato PRCS ("PRoject Coordinate System")

Nel PRCS l' n -esimo sistema di coordinate locali $SOCS_n$, corrispondente alla n -esima posizione Sp_n assunta dallo strumento nell'esecuzione del progetto, sarà univocamente identificato da un vettore traslazione dell'origine, nelle coordinate del PRCS, e dalla rotazione degli assi del $SOCS_n$ rispetto agli assi del PRCS.

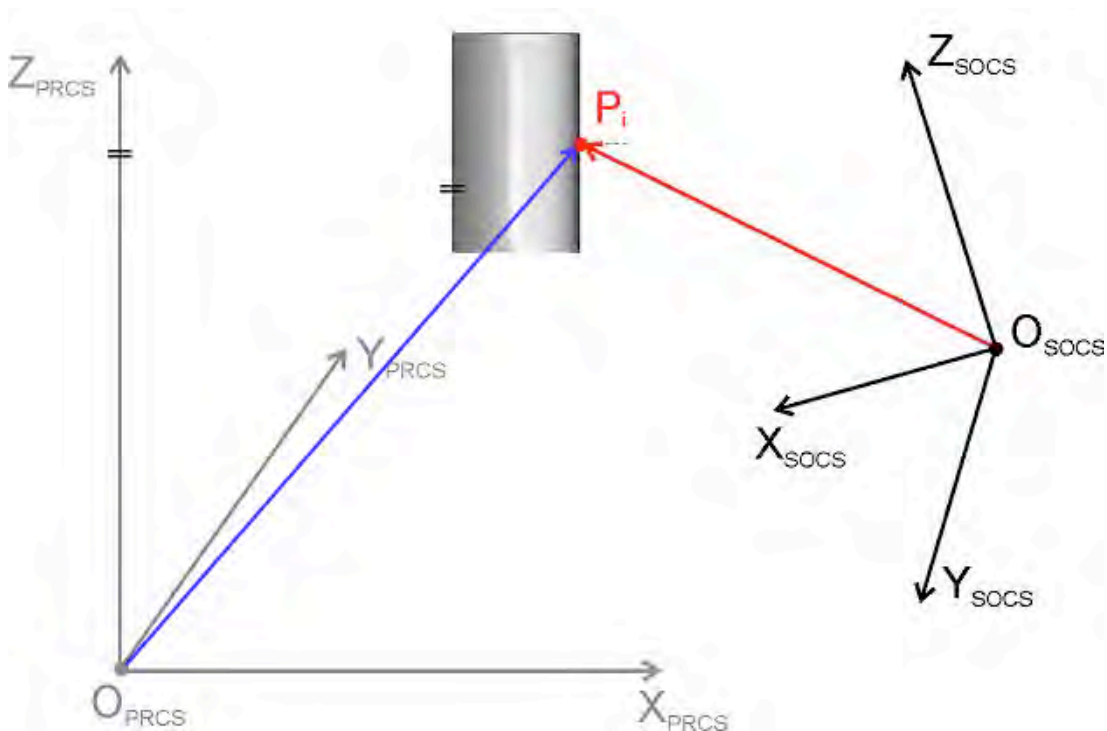


Fig.08 – Uno stesso punto appartenente alla superficie dell'oggetto può essere individuato sia dal vettore posizione appartenente al sistema di coordinate locali (SOCS), sia dal vettore posizione appartenente alle coordinate del progetto (PRCS).

Occorre sottolineare, infatti, che un diverso orientamento dello strumento nel medesimo punto di stazione, va considerato anch'esso come una posizione a se stante. Ciò succede, ad esempio, quando si fa assumere un'inclinazione diversa allo strumento, senza spostarne la posizione spaziale.

Ogni rototraslazione dei sistemi locali rispetto al PRCS, dunque, è in genere descritta da 6 parametri (3 per la traslazione e 3 per la rotazione degli assi) ma può essere descritta anche da una specifica matrice di trasformazione associata a ciascun sistema locale.

Applicando tale matrice di trasformazione ai vettori posizione del rispettivo sistema locale, infatti, è possibile trasformare le coordinate di ogni SOCS in coordinate del PRCS.

Alcuni softwares (come Riscan Pro della Riegl) utilizzano una matrice 4 x 4

$$M_{SOP} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

chiamata M_{SOP} dove M sta per **Matrix** e SOP per **Scanner Own Position**.

La matrice consiste in 9 parametri che descrivono la rotazione degli assi del sistema locale rispetto agli assi del PRCS, contenuti nella sub matrice quadrata r 3x3, (r_{11} - r_{33}), e 3 parametri per la traslazione dell'origine, contenuti nel vettore colonna t (t_1 - t_3).

Dunque, è possibile effettuare la trasformazione delle coordinate locali in coordinate omogenee, semplicemente moltiplicando ogni vettore posizione del sistema locale $SOCS_i$, relativo alla i -esima posizione dello strumento, per la matrice di trasformazione M_{SOP_i} associata a quel sistema locale nel sistema PRCS.

$$P_{hom} = (x \ y \ z \ 1)^T$$

Ottenuta in tal modo la nuvola di punti complessiva P_{PR} in coordinate omogenee nel PRCS, è possibile decidere, analogamente a quanto appena fatto, di referenziare, a sua volta, tale nuvola di punti complessiva a un sistema di coordinate globali (GLCS = **GL**lobal **C**oordinate **S**ystem) allo scopo di georeferenziarla.

Ciò si può fare semplicemente applicando ai vettori della P_{PR} , un'altra matrice di trasformazione che viene detta M_{POP} (**Matrix Project Own Position**), analoga alla

\mathbf{M}_{SOP} , che descrive la posizione e l'orientamento del PRCS nel sistema di coordinate globali GLCS.

Alla fine di tale processo, dunque, si otterrà la nuvola di punti \mathbf{P}_{GL} in coordinate globali, automaticamente georeferenziata.

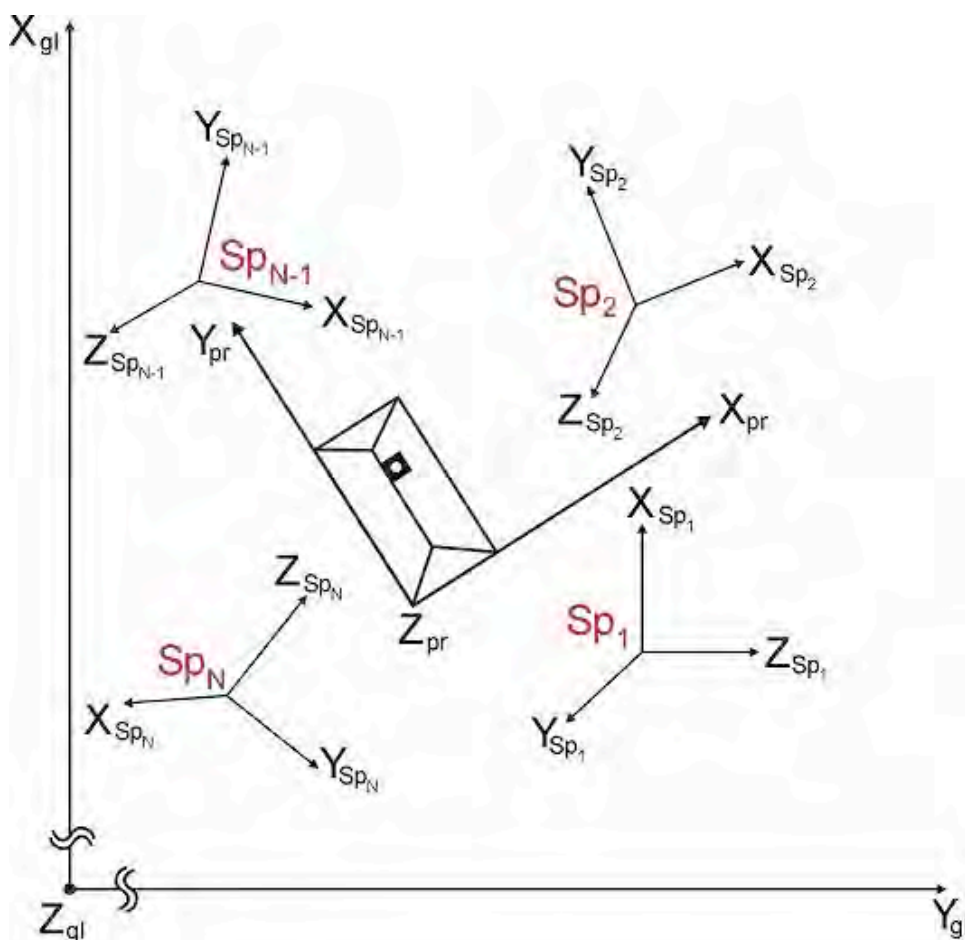


Fig.09 – Sistemi di riferimento locali, sistema di riferimento del progetto e sistema di coordinate globali.

Conoscendo dunque le matrici di trasformazione \mathbf{M}_{SOP_i} e la matrice \mathbf{M}_{POP} è possibile trasformare, in due passaggi sequenziali, le varie distinte nuvole di punti acquisite in coordinate locali, in un'unica complessiva nuvola di punti espressa in coordinate globali.

Processo che, inoltre, è possibile ripercorrere a ritroso applicando al posto delle matrici \mathbf{M}_{SOP_i} e \mathbf{M}_{POP} , le rispettive matrici ortogonali $\mathbf{M}_{SOP_i}^{-1}$ e \mathbf{M}_{POP}^{-1} .

In tal modo dalla nuvola di punti in coordinate globali, si può risalire alle nuvole di punti in coordinate locali e quindi alle informazioni relative alle posizioni dello strumento per ogni nuvola acquisita inizialmente nel progetto.

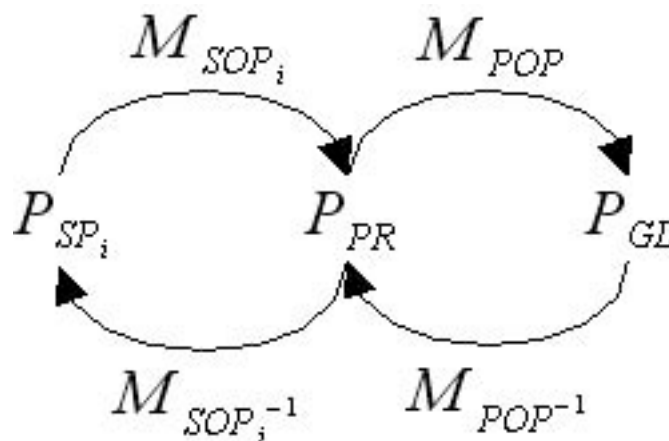


Fig.10 – Schema di trasformazione delle coordinate locali in coordinate globali e viceversa.

Per realizzare tali passaggi, dunque, il vero problema è riuscire a determinare le matrici di trasformazione M_{SOP_i} per ciascuna posizione SP_i (Scan Position i) e l'unica matrice M_{POP} associata al PRCS.

Vedremo più dettagliatamente, nei paragrafi successivi, come per far questo i vari sistemi tecnologici predispongono una serie di procedure di vario genere: alcune di esse prevedono, ad esempio, l'uso di targets (o riflettori) da inserire nella scena, durante il rilevamento, che servono ad identificare punti dell'oggetto omologhi nelle diverse nuvole di punti acquisite.

Grazie all'identificazione e la collimazione di tali punti omologhi, il software riesce a risalire alla Matrice M_{SOP_i} e quindi ad applicare la trasformazione all'intero sistema di coordinate locale.

In tale operazione, che viene in genere detta di "registrazione" o "allineamento", una nuvola di punti locale funge da base, assumendo il suo sistema SOCS come sistema

PRCS e le altre vengono “registrate” o allineate rispetto ad essa o rispetto alle precedenti nuvole già registrate sulla base o in successione a catena.

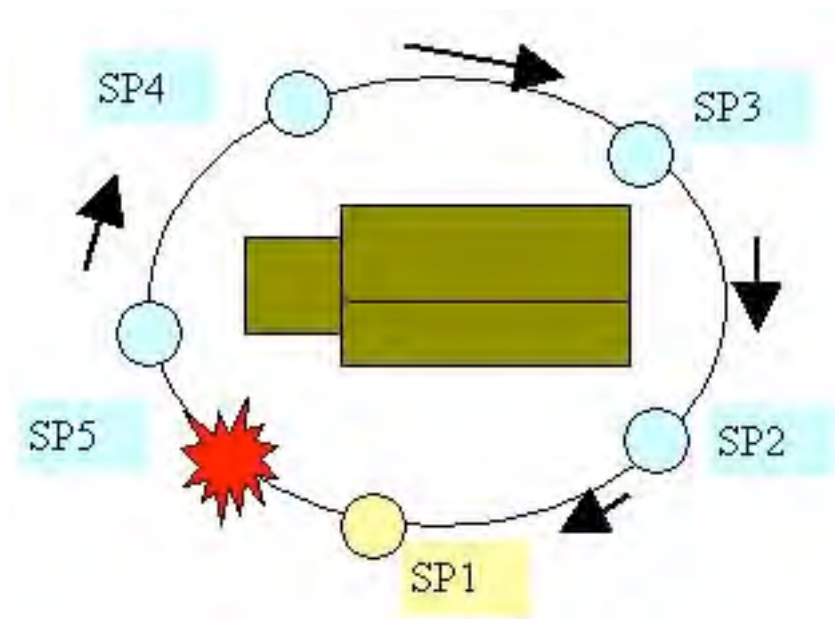


Fig.11 – Esempio di registrazione di scansioni a catena: La posizione SP1 viene assegnata come posizione base e pertanto le sue coordinate locali si assumono come coordinate di progetto (PRCS), la posizione SP2 viene registrata sulla posizione SP1 trasformando le sue coordinate locali nel sistema di coordinate di SP1, ora coordinate di progetto (PRCS); la posizione SP3, a sua volta, viene registrata sulla posizione SP2 già registrata su SP1, e così via.

Vi sono poi procedure software attraverso le quali è invece possibile effettuare la registrazione delle nuvole di punti senza utilizzare dei targets, lasciando al software il riconoscimento dei punti omologhi, direttamente sulla nuvola, mediante algoritmi di calcolo molto sofisticati, oppure effettuando il riconoscimento manualmente o in forma assistita dal software. Tale procedura, sebbene molto più speditiva sul campo, è più elaborata in fase di post-produzione e meno affidabile, poichè fornisce risultati accurati soltanto in presenza di nuvole di punti molto dense, come nel caso degli scanner laser ad alta risoluzione (ad es. a triangolazione ottica).

Altre procedure più sofisticate fanno invece uso di antenne satellitari GPS ad alta risoluzione, per la determinazione istantanea delle posizioni spaziali e di stazioni

inerziali (IMU) per la determinazione sempre istantanea dell'orientamento e delle rotazioni dello strumento, questo sistema (TLS+GPS+IMU) permette di associare tali informazioni direttamente ad ogni punto della nuvola, cioè come scalari in ciascun vettore, restituendo immediatamente una nuvola in coordinate globali senza la necessità di effettuare trasformazioni vettoriali.

E' questo il caso dei sistemi LIDAR aerei e dei sistemi dinamici montati su vettori terrestri (furgoncini, quad, treni, battelli, ecc..).

1.2 L'integrabilità delle nuvole di punti con altre tecnologie

Abbiamo in precedenza osservato che, per definizione, la nuvola di punti, indipendentemente dalla dimensione dello spazio vettoriale a cui appartiene, deve contenere, come informazione di base, i vettori posizione tridimensionali dei punti campionati sull'oggetto reale, rispetto al sistema di coordinate locali dello strumento che effettua la misurazione.

L'insieme di tali vettori posizione, che abbiamo definito “nuvola di punti semplice”, costituisce l'informazione “metrica” standard fornita dallo strumento in automatico.

Quando un sistema tecnologico non è in grado di restituire almeno la nube semplice, dunque, non appartiene ai sistemi che generano nuvole di punti, qualsiasi sia l'insieme di informazioni vettoriali che restituisce, e pertanto esula dalla nostra indagine.

Tuttavia la “nuvola di punti semplice” è solo il caso limite di nuvola di punti che è possibile osservare; nella generalità, infatti, le nuvole di punti appartengono a spazi vettoriali \mathbf{R}^n dove $n > 3$, pertanto ogni elemento dell'insieme, ovvero ogni vettore \mathbf{P} della nube, si presenterà nella forma

$$\mathbf{P}(s_1, s_2, s_3, \dots s_n)$$

Tale nube di punti “contiene” la nube semplice, rappresentata dai primi tre scalari s_1, s_2, s_3 che, pertanto, potremmo esplicitare direttamente come X, Y, Z (in coordinate cartesiane), riscrivendo la nuvola di punti in questo modo:

$$\mathbf{P}(x, y, z, s_1, s_2, \dots s_{n-3})$$

Un tale tipo di nube di punti si dice “complessa” poiché, come vedremo, contiene informazioni di tipo eterogeneo in forma scalare, infatti, se i primi tre scalari (X, Y, Z) rappresentano le informazioni metriche, i restanti $n-3$ scalari ($s_1, s_2, \dots s_{n-3}$) rappresenteranno informazioni aggiuntive che lo strumento, in base allo specifico sistema tecnologico adottato, riesce a misurare e ad associare al singolo punto individuato dal vettore posizione (X, Y, Z).

Occorre sottolineare, infatti, che il numero degli $n-3$ scalari, e quindi la dimensione n dello spazio vettoriale della nube, e il tipo di informazione che i vari $n-3$ scalari rappresentano in forma numerica, dipendono strettamente dallo specifico sistema tecnologico utilizzato, a differenza dei vettori posizione che, come detto, rappresentano una caratteristica comune a tutte le nuvole di punti.

Le tecnologie in grado di produrre le nubi di punti, infatti, quasi sempre sono in grado di acquisire (già per loro natura intrinseca) anche informazioni aggiuntive, a quelle metriche, riguardo le superfici misurate.

Consideriamo, ad esempio, il caso che la nube di punti sia generata da un laser scanner a tempo di volo o a differenza di fase (vedi paragrafo), in tal caso la nube sarà prodotta attraverso l'emissione di impulsi laser e la lettura, da parte dei sensori dello strumento, del conseguente del segnale luminoso che ritorna allo scanner. La lettura del segnale di ritorno, infatti, fornirà sia la posizione del punto in coordinate polari, sia il valore di "luminanza"¹ della superficie colpita, questo perchè la misura viene effettuata proprio grazie alla capacità della superficie di riflettere il raggio laser e far ritornare parte dell'impulso allo strumento.

¹ La luminanza (o anche riflettanza) è una grandezza che tende a valutare la sensazione luminosa ricevuta dall'occhio umano o da un sensore ottico, proveniente da una superficie colpita da una sorgente luminosa esterna. Il valore ottenuto dipende dalla natura della superficie stessa, dal suo indice di riflessione e dall'angolo di visione e si misura in Cd/mq.

Il principio è molto semplice : se il raggio laser parte dallo strumento con valore di intensità pari a 100 , colpisce l'oggetto ed in base alla natura dello stesso, ritorna allo strumento con valore differente. Ad esempio una superficie chiara manderà un segnale sicuramente più forte di una superficie scura, un materiale poroso assorbirà più luce di uno compatto o la stessa superficie dello stesso materiale risponderà in maniera differente se impregnata di acqua o umida.

In generale il valore di luminanza è differente se il materiale è lo stesso ma le colorazioni sono diverse: dove la vernice è scura, assorbe più luce; se il materiale è simile per origine e colorazione ma alcune parti della parete sono ancora umide; se i materiali sono differenti fra loro, come ad esempio elementi di marmo in una struttura di muratura ecc

L'utilità di tale grandezza, dipende dalla sua capacità di fornire informazioni qualitative circa la natura o lo stato delle superfici colpite dall'impulso laser, informazioni che tuttavia vanno interpretate per capire se a un diverso gradiente corrisponde un materiale diverso o uno stato superficiale cromatico differente o una diversa rugosità superficiale, ecc.

Con appositi filtri via software è possibile, ad esempio, selezionare tutti i punti con valore di riflettanza affine, magari associato ad un materiale ,ad un colore o ad una macchia d'umidità ecc , Ciò può tornar utile ad esempio nella determinazione precisa della composizione materica di una parete o nella delimitazione di macchie d'umidità, ecc.

La caratteristica di riflettività o luminanza del punto colpito dall'impulso è infatti facilmente quantificabile dallo strumento essendo ottenuta misurando la percentuale di energia luminosa che ritorna rispetto all'energia emessa.

A questo punto la nuvola di punti restituita da un laser scanner di questo tipo sarà sicuramente una nuvola quadrimensionale in questa forma:

$$P(x, y, z, i)$$

$$P(r, q, f, i,)$$

dove i esprime la percentuale di energia luminosa ritornata allo scanner dal punto di coordinate (x, y, z) nel sistema di riferimento locale, ovvero rappresenta il valore di "luminanza" di quel punto.

Proseguendo con un altro esempio, se la nube di punti è prodotta attraverso l'utilizzo di un laser scanner a triangolazione (vedi paragrafo ...) il segnale di ritorno sarà analizzato da un sensore di tipo fotografico CCD che ha come caratteristica intrinseca quella di poter leggere l'informazione cromatica associata ad ogni singolo punto della nube semplice, sotto forma di parametri R,G,B (Red, Green, Blue, ovvero sistema true color) poiché è ciò che il sensore fotografico registra come informazione primaria.

In tal caso, con questo sistema tecnologico, si otterrà una nuvola di punti esadimensionale di questo tipo:

$$P(x, y, z, R, G, B)$$

$$P(r, q, f, R, G, B)$$

in cui ad ogni punto individuato dal vettore posizione, corrisponderanno, in forma scalare, le quantità R,G,B ottenendo una nube di punti "colorata" direttamente dall'immagine fotografica acquisita dal sensore.

Ci si domanda, allora, se è possibile associare alla nuvola di punti semplice altre informazioni scalari che lo strumento da solo non è in grado di generare.

Cio è possibile se si riesce a referenziare tali informazioni esogene, a ciascun vettore posizione della nuvola di punti semplice.

L'esempio più semplice è ancora una volta quello dell'informazione di colore:

Se ad esempio si vuole associare alla nuvola

$P(x, y, z, i)$

le informazioni di colore R,G,B, che lo strumento non è di per se in grado di acquisire, è possibile, in certi casi, associare allo scanner un sensore fotografico (esterno o interno) ad esso solidale, che costituisca con lo scanner un unico sistema tecnologico in grado di restituire, in automatico, le nuvole di punti complesse contenenti le informazioni di colore mancanti².

E' ad esempio molto comune la pratica di associare ai laser scanner a tempo di volo (o a differenza di fase) una fotocamera digitale calibrata, in grado di colorare, in automatico, attraverso un software di gestione, la nuvola di punti semplice restituita dallo scanner, producendo così nuvole di punti 7-dimensionali di questo tipo:

$P(x, y, z, i, R, G, B)$

$P(r, q, f, i, R, G, B)$

che, allo stato attuale, rappresenta una delle tipologie di nuvole di punti più utilizzate nella pratica.

² Il valore RGB (True color) è sicuramente più di forte impatto visivo, ma sicuramente meno preciso dal punto di vista metrico del valore di luminanza. Per quasi tutti gli scanner il valore del colore viene acquisito tramite una fotocamera esterna o interna allo strumento. Naturalmente per proiettare il colore catturato dal sensore ccd alla nube di punti, il sensore laser e quello ccd devono avere la stessa posizione o essere ben determinate; Se la fotocamera è interna o bloccata allo scanner con precisione, queste posizioni sono note per costruzione. Nel caso la fotocamera sia esterna e non si hanno i 6 parametri della posizione nello spazio (posizione x,y,z rotazioni sugli assi Ω, Φ, K), si può determinare il centro di presa riconoscendo dei punti omologhi tra nube di punti e immagine ccd. Questa operazione permette di determinare la posizione della camera tramite una sorta "di intersezione all'indietro" topografica.

Inoltre, per quanto siano poi precise le ottiche, comunque non possono essere prive di distorsione radiale. I software dove possono correggono questo errore.

L'altro problema è l'illuminazione della superficie o il suo orientamento rispetto alla luce. Come con qualsiasi macchina fotografica abbiamo problemi di sovraesposizione o sottoesposizione del sensore e come tutti sappiamo le foto scattate contro luce possono risultare più scure di quelle bene esposte e così via. Anche in questo caso i software correggono il problema cercando di equalizzare il dato.

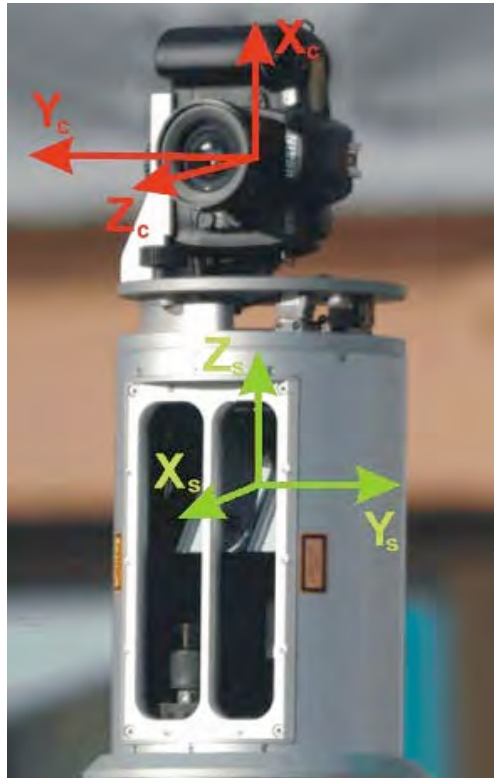


Fig.1 – Fotocamera montata su un laser scanner a tempo di volo, resa ad esso solidale mediante appositi kit di montaggio e calibrata via software attraverso la registrazione automatica (grazie alla posizione nota) del sistema di coordinate interno X_c, Y_c, Z_c , sul sistema di coordinate locale dello scanner.

E' possibile ottenere risultati molto simili anche senza utilizzare sistemi hardware solidali che acquisiscono tutte le informazioni contestualmente, ma utilizzando informazioni acquisite in tempi diversi da strumentazioni diverse che vengono poi associate in fase di post-produzione grazie a specifici software e procedure particolari, è il caso delle operazioni di "texturing" in cui si riferenziano alla nuvola di punti, attraverso il software, immagini fotografiche prese non contestualmente ma in tempi diversi per colorare la nube o la mesh su essa costruita.

Questa pratica, tuttavia, ha il limite di non poter essere gestita totalmente in automatico e richiede molto lavoro di post-produzione con procedure che sebbene assistite dal software, risultano ancora in gran parte manuali.

Arrivati a questo punto, appare chiaro che virtualmente potremmo associare alla nuvola di punti qualsiasi informazione, a patto che tale informazione sia in forma scalare e a patto che tale scalare sia in qualche modo referenziabile a una precisa posizione spaziale. In altre parole, se conosciamo la posizione spaziale di entrambe le tecnologie nel momento stesso che effettuano la misurazione. Ciò è possibile ottenerlo, come abbiamo visto, rendendo le due apparecchiature mutue e solidali, ma si può ottenere anche in altro modo, e cioè georeferenziando in ogni istante qualsiasi misurazione, in modo tale che ogni misura scalare, di qualsiasi tipo e provenienza sia sempre collocata nello spazio in un sistema di riferimento comune che non sarà più locale ma globale. In tal modo se si fa una misura con un georadar, ad esempio, e si riesce immediatamente a collocare tale misura nello spazio in un sistema di riferimento globale, associarlo con la misura di un laser scanner è cosa pressoché immediata, a patto che la nuvola di punti da questo restituita sia collocata nello stesso identico riferimento spaziale..

Si apre, a questo punto, ogni tipo di scenario, in cui è possibile, ad esempio, immaginare di associare automaticamente informazioni termografiche con informazioni radiometriche e informazioni georadar con nuvole di punti spaziali.

Ciò è già in molti casi possibile, ma tuttavia ancora poco praticato, eppure si immagini l'utilità di collocare globalmente le informazioni generate da un georadar che riguardano cavità nel sottosuolo totalmente invisibili e ignote, e si pensi all'utilità di poter ritrovare tale informazione automaticamente collocata in una nuvola di punti della parte visibile dell'area interessata.

Un'ultima considerazione, infine, va fatta su una nuova generazione di sistemi tecnologici che sicuramente avrà grande sviluppo in futuro, poichè capaci di generare nuvole di punti attraverso semplici sensori fotografici CCD (comuni fotocamere digitali) senza l'ausilio di proiezioni di impulsi laser o codici luminosi sulla scena di ripresa,, con indubbi vantaggi sia da un punto di vista economico che pratico che consente una versatilità e una varietà dei possibili campi applicativi pressoché unica.

Tale tipo di tecnologia viene denominata genericamente "Photo Scanning".

Il principio su cui si basa è molto semplice e direttamente derivato dalla stereofotogrammetria e verrà analizzato dettagliatamente più avanti.

Quello che qui ci interessa sottolineare è che per tali sistemi proprio l'informazione di colore RGB costituisce il dato fondamentale dal quale si ricavano anche le informazioni vettoriali x,y,z , ribaltando in parte il concetto secondo il quale le informazioni R,G,B, sono informazioni aggiuntive o accessorie rispetto alla nuvola di punti semplice che, si badi bene, anche in questo caso viene generata.³

La possibilità di estrarre informazioni metriche tridimensionali da coppie o triplette di immagini bidimensionali fotografiche è un qualcosa che già è ampiamente nota grazie alla fotogrammetria.

La novità consiste nel fatto che con il photo scanning non solo è possibile estrarre informazioni metriche lineari dalle immagini, ma con una semplicissima terna di immagini acquisite da fotocamere digitali calibrate e collocate in posizioni note, si può estrarre in automatico (attraverso un particolare software dedicato), delle vere e proprie nuvole di punti complesse del tipo:

$P(x, y, z, R, G, B)$

Ricapitolando, le nuvole di punti complesse possono contenere una serie informazioni eterogenee, che, associate a dei vettori posizione tridimensionali, sono

³ In effetti vi sono diverse analogie tra il mondo delle nuvole di punti e quello della fotografia digitale, proviamo a vederne alcune:

Innanzitutto si può notare come anche le fotocamere digitali costituiscono sistemi tecnologici che campionano gli oggetti in modo "casuale", cioè in modo non-interpretativo. Le fotocamere digitali, infatti, leggono ed analizzano attraverso una griglia ordinata e predeterminata di pixel, il segnale di ritorno di una proiezione luminosa sull'oggetto (la luce solare o artificiale).

Il dato restituito, ovvero l'immagine digitale in pixel, infatti, è anch'esso un insieme vettoriale n-dimensionale i cui elementi sono vettori composti da n scalari che contengono le informazioni di colore, nel campo del visibile, sotto forma di valori R,G,B (true color) e le informazioni di posizione bidimensionale del pixel a cui le informazioni R,G,B sono associate, cioè un vettore posizione bidimensionale appartenente al piano del sensore (il piano dell'immagine).

Tali vettori n-dimensionali, quindi, contengono, oltre alle informazioni colorimetriche R,G,B, anche vettori bidimensionali che identificano la posizione dei pixel nel piano del sensore, su cui si proietta il ritorno del segnale.

in grado di fornire una rappresentazione numerica puntuale e diffusa di superfici reali anche molto estese, tale modello numerico acquisito attraverso procedure automatiche, considera sia dati metrico-dimensionali che dati di tipo “qualitativo”, espressi in forma quantitativa (numerica), dipendenti dalla natura materica delle superfici campionate.

Un tale insieme di dati, costituisce, dunque, un patrimonio di informazioni, puntuale e diffuso, circa lo “stato di fatto” di un oggetto reale. Un patrimonio che grazie alla fondamentale caratteristica di essere stato acquisito in modo “automatico” (nei limiti già analizzati), può essere considerato come un documento “oggettivo”, cioè non-interpretativo, riferibile temporalmente al momento dell'acquisizione.

Questa possibilità di essere considerato “documento”, temporalmente definito, rende la nuvola di punti complessa molto simile alla documentazione fotografica, per ciò che riguarda l'importanza che questa può assumere nella fase di documentazione e conoscenza del progetto di Conservazione, importanza ancor più avvalorata dalla possibilità di documentare, in senso non interpretativo, anche le informazioni metriche, un tempo affidate a pratiche mensorie intrinsecamente interpretative e non considerabili come documentazione “oggettiva”.

Ovviamente, come più volte sottolineato, la nuvola di punti rappresenta “il dato” di partenza, la sua interpretazione scientifica e la sua elaborazione e rappresentazione rimangono le attività indispensabili affidate alla scienza del rilievo quale disciplina scientifica interpretativa autonoma.

1.3 Gli scanner 3D

Sono considerati Scanner 3D tutti quegli strumenti in grado di acquisire nuvole di punti semplici e complesse, in modo automatico, sistematico, e, in genere, con un'alta velocità.

Il principio base su cui si basano le differenti tipologie di scanner può essere così riassunto: la proiezione di un raggio, di un fascio di luce o di un pattern sull'oggetto e l'analisi del segnale di ritorno.

La prima distinzione si deve operare sulla prima fase, ovvero sul tipo di luce che viene proiettata sull'oggetto.

Quando, infatti, lo strumento proietta impulsi di luce monocromatica ad alta energia (Laser) lo strumento viene detto Laser Scanner, se, invece, proietta semplicemente codici di luce non laser, lo strumento viene detto Scanner a luce strutturata.

Vi è poi una famiglia di sistemi che non si può considerare appartenente in maniera propria agli scanner 3d, in quanto non proietta alcuna luce sull'oggetto, tuttavia sono capaci di produrre nuvole di punti complesse dalla lettura passiva del segnale luminoso proveniente dall'illuminazione ambientale e pertanto appartengono più alla categoria delle fotocamere che non degli scanner.

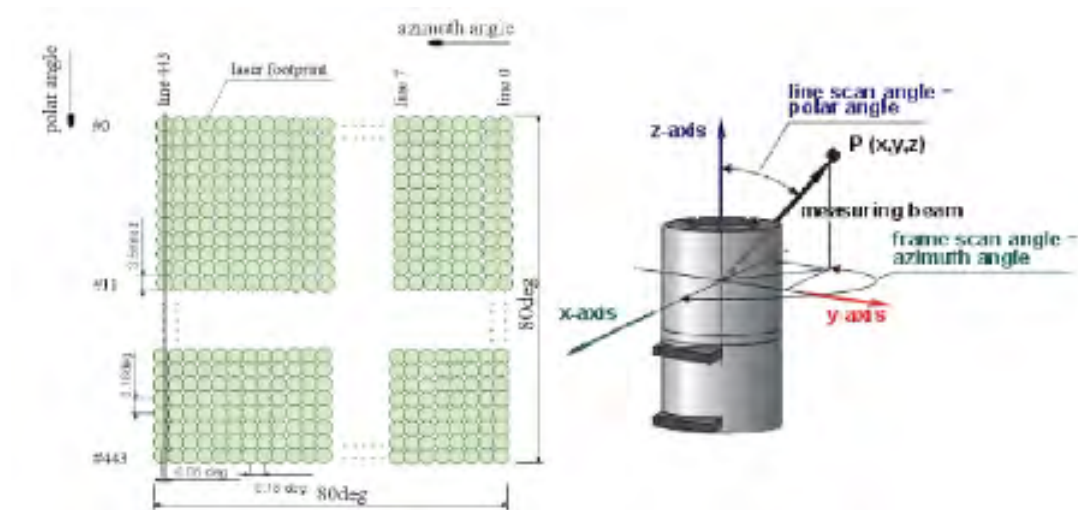
Si tratta delle cosiddette “Camere ToF” di recentissima acquisizione e dei sistemi di Photo Scanning che utilizzano semplici fotocamere commerciali e un particolare sistema software capace di generare nuvole di punti semplicemente dalle immagini con un metodo di tipo fotogrammetrico. Il Photo scanning verrà trattato in tale studio in un paragrafo a parte.

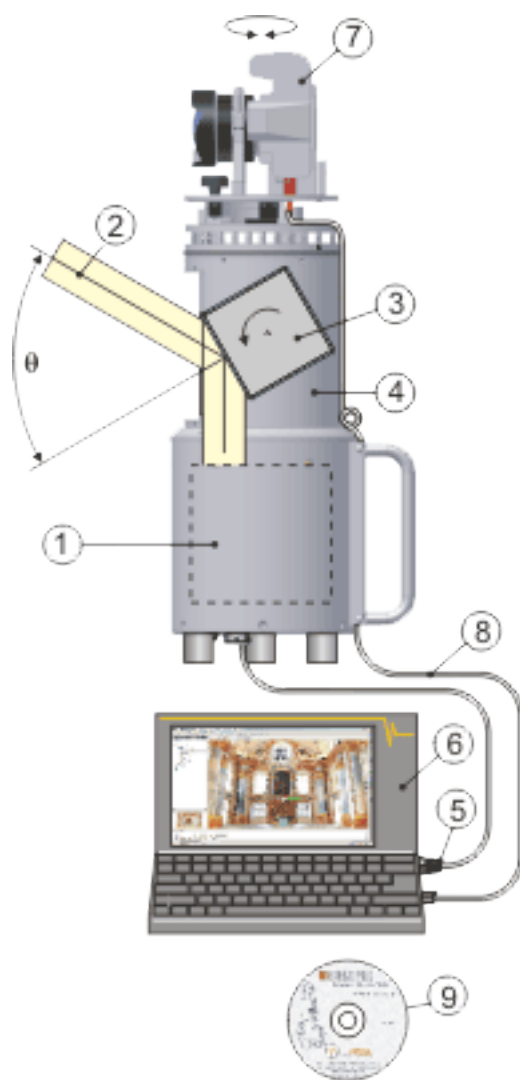
La seconda distinzione viene fatta in base alla seconda fase di lettura, in cui si differenziano vari principi operativi e diversi sistemi di misura del segnale di ritorno.

Ranging Scanner:

Con “range scan” si intende una nuvola di punti (ordinata nello spazio) acquisiti da una singola posizione di scansione. La misura di tempo o la differenza di fase vengono convertite in misure di distanza tra il punto di emissione del segnale laser (posizione dello strumento laser) e gli oggetti colpiti dal raggio laser. Noti inoltre gli angoli azimutali e zenitali del sensore.

Il range di azione di questi strumenti può variare da alcuni metri ad alcune centinaia di metri con un margine di errore molto ridotto: da pochi millimetri su distanze fino a 80m, a pochi centimetri su distanze dell'ordine di 2000 metri. Vengono impiegati, per questo motivo, nel rilievo di oggetti di grandi e medie dimensioni e i campi di applicazione sono molteplici: dall'architettura all'ingegneria civile, dagli impianti nucleari ed energetici alla riproduzione della realtà virtuale di una scena di un crimine.

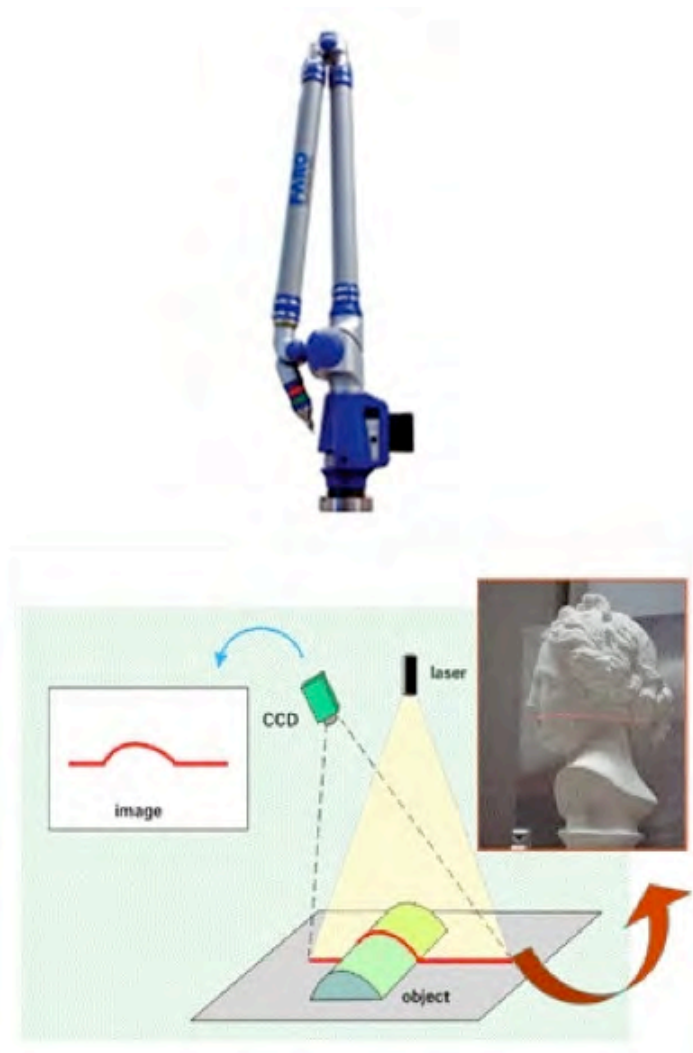




Triangulation Scanner:

Per la restituzione digitale di oggetti di piccole dimensioni e per la costruzione di prototipi industriali vengono utilizzati gli scanner laser a triangolazione ottica, che operano su distanze minori ma offrono una precisione dell'ordine dei decimi di millimetro. Il principio di misurazione delle coordinate di un punto è analogo al processo di triangolazione che si effettua in topografia. Emittitore e ricevitore del laser si trovano in due punti differenti.

Una lama di luce, emessa dallo scanner, colpisce l'oggetto generando un profilo che viene acquisito da una telecamera a CCD (Charge Coupled Device).



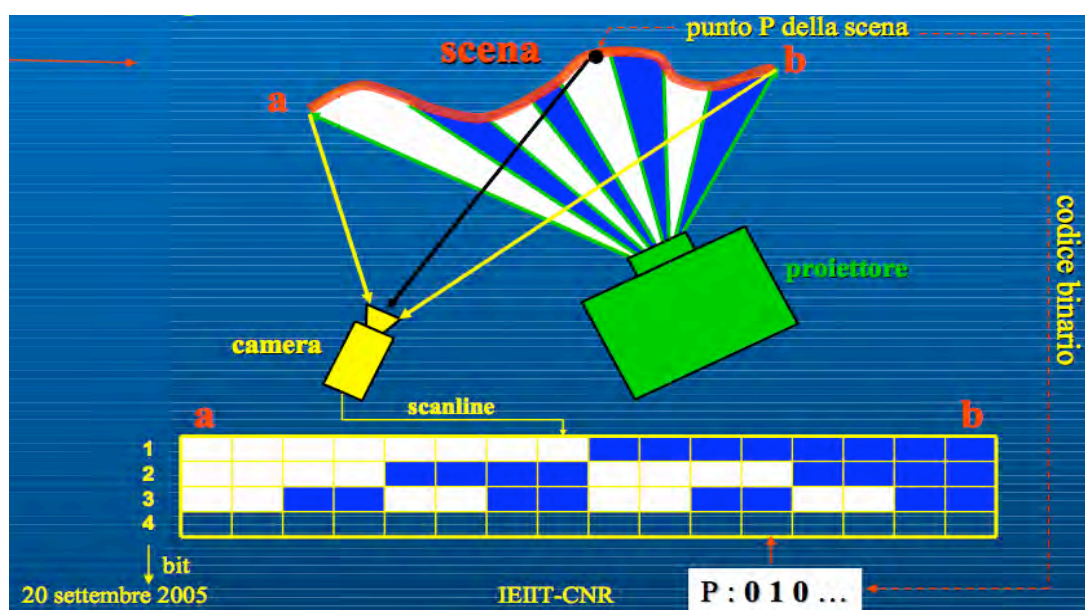


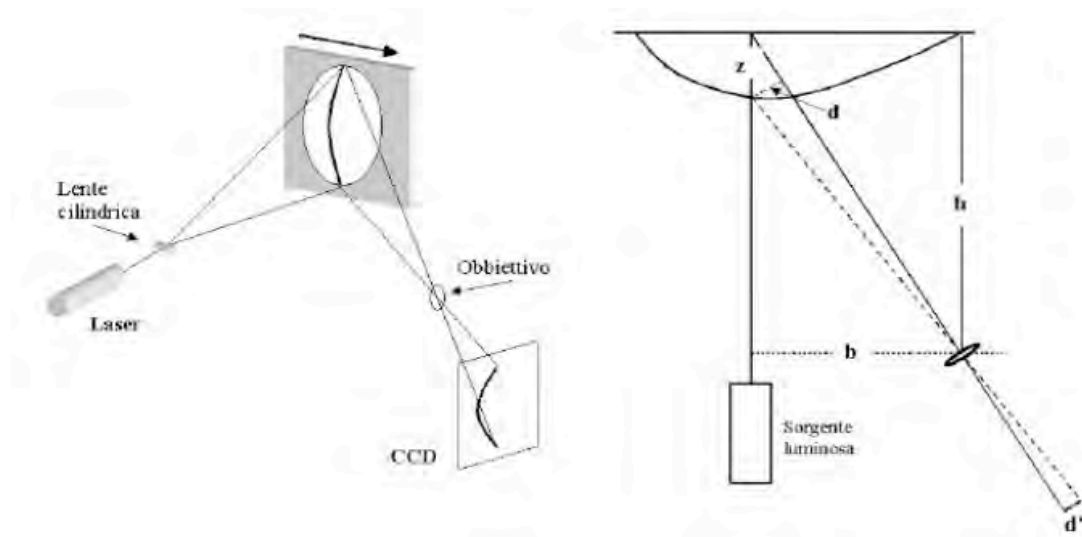
Luce Strutturata

Con il termine luce strutturata si intende l'utilizzo di particolari sistemi ottici in grado di proiettare sull'oggetto da misurare punti certi di riferimento come linee o griglie.

Siccome l'immagine di questi punti ottenuta con una camera fotografica o con un sistema di ripresa televisivo contiene l'informazione relativa alla loro altezza z rispetto ad un piano di riferimento, il valore di z si ricaverà tramite un procedimento di triangolazione. Il modo più semplice per analizzare un oggetto consiste nel proiettare una linea luminosa con la quale verrà evidenziata una sola sezione della sua superficie. Successivamente, spostando la linea o l'oggetto si potrà completare l'insieme delle misure.

La sorgente luminosa è tipicamente un laser munito di una lente cilindrica a corta focale in grado di produrre una linea luminosa sufficientemente intensa. L'immagine della linea viene quindi ripresa con una telecamera che è posizionata ad un angolo α diverso da quello di proiezione. A causa dell'effetto prospettico derivante dalle condizioni di ripresa la linea si trasforma in una curva la cui forma dipende congiuntamente da α e dal profilo della superficie.





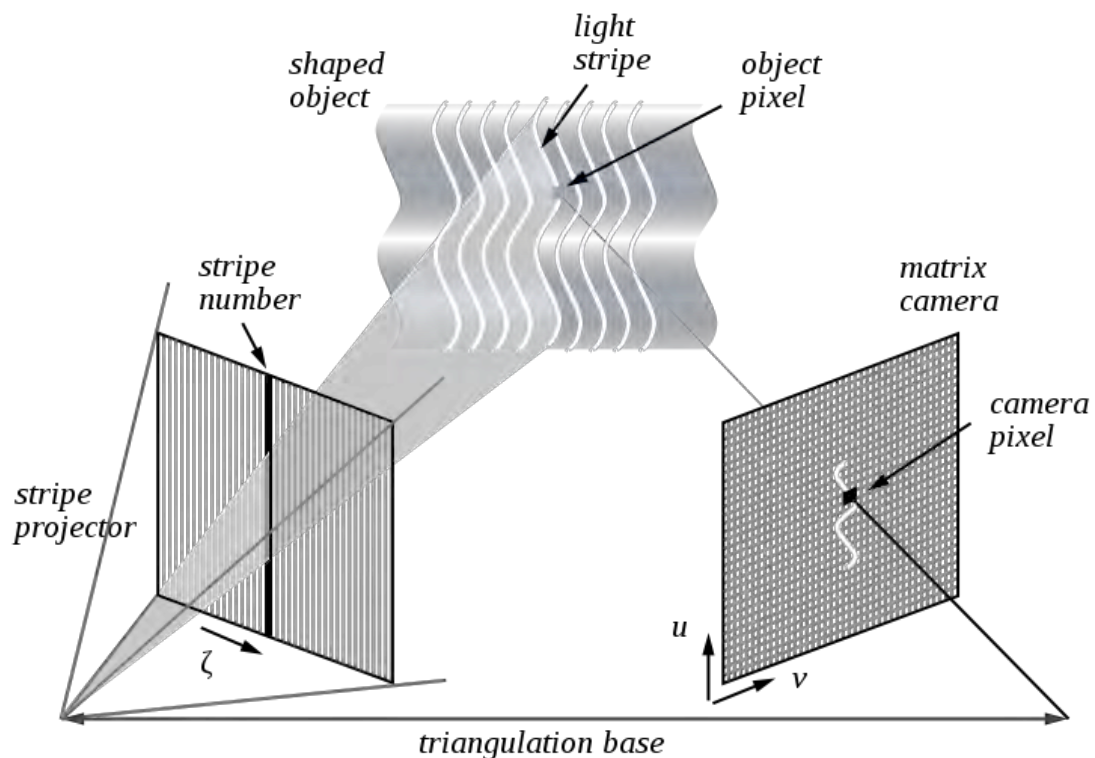
La figura mostra il principio della misura di una quota generica z dell'oggetto. Questa tecnica prevede la registrazione di due immagini: la prima, del solo piano di riferimento ξ senza l'oggetto, la seconda con l'oggetto da misurare appoggiato sul piano ξ . Di conseguenza la superficie risulta illuminata la prima volta in f e la seconda volta in g . Nelle due immagini corrispondenti la posizione dei punti f e g appare però traslata di una quantità d' che è legata all'altezza locale z dalla seguenti relazioni:

$$d = \frac{d'}{M} \quad \theta = \tan \frac{b}{h} \quad z = \frac{d}{\sin \theta}$$

Dove M rappresenta la magnificazione del sistema ottico

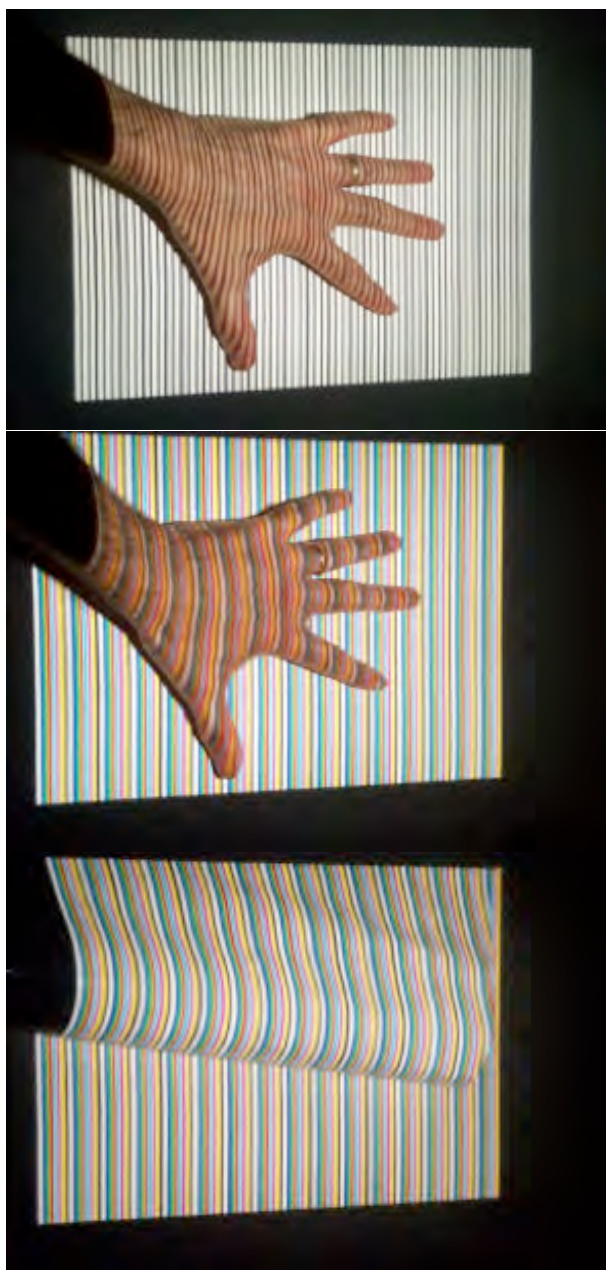
Luce strutturata non laser, proiezione di un reticolo

Il metodo della proiezione di un reticolo viene usato quando non sia conveniente spostare l'oggetto o la linea luminosa.



Si usano proiettori per diapositive o videoproiettori pilotati da computer per esaminare tutta la superficie dell'oggetto da misurare. Il profilo caratteristico dell'oggetto si ricava a posteriori elaborando l'intera immagine. Aumentando la densità di righe per unità di superficie dell'oggetto si migliora la risoluzione spaziale ma contemporaneamente possono nascere delle ambiguità nell'identificazione della continuità di una linea. Infatti se la pendenza della superficie varia piuttosto rapidamente, può accadere che non si riesca a confrontare le linee del piano di riferimento con quelle dell'oggetto. Questo inconveniente può far nascere dei problemi nella fase di sviluppo di programmi di calcolo automatici che estraggono il profilo di altezza dell'oggetto senza nessun intervento dell'operatore.

Una tecnica alternativa che riduce questo problema è quello della proiezione di un certo numero di righe colorate che si susseguono con una sequenza precisa. Siccome le linee con gli stessi colori si presentano ben separate fra loro, l'ambiguità nella ricostruzione delle coppie di linee si riduce drasticamente.



Sistema di misura a “Tempo di volo”

Il principio di funzionamento maggiormente utilizzato è quello del T.O.F. ovvero “time of flight” (tempo di volo).

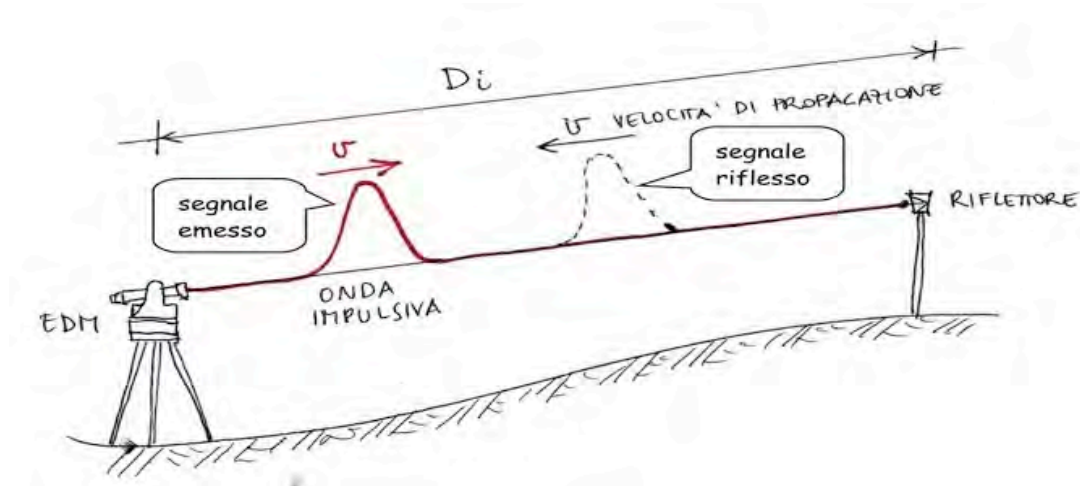
Un impulso laser viene emesso verso l’oggetto e la distanza tra trasmettitore e superficie riflettente è calcolata in base al tempo impiegato dal segnale tra l’emissione e la ricezione.

Principio di funzionamento:

Per ogni impulso si misura il tempo intercorso fra l’emissione e la ricezione del raggio riflesso dall’oggetto;

l’intervallo di tempo tra il segnale emesso e l’eco del segnale ricevuto è quantificato da un orologio stabilizzato al quarzo;

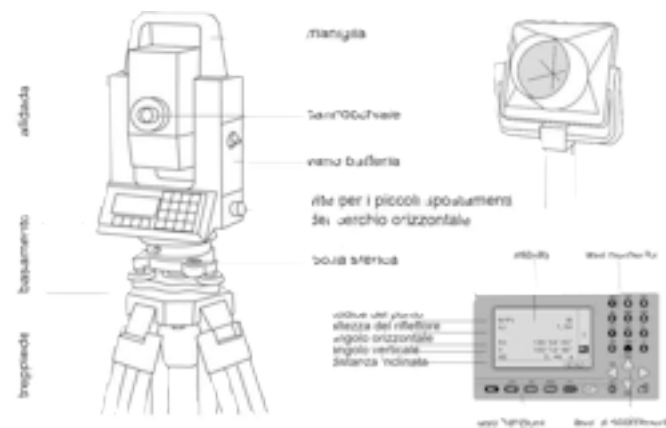
il risultato viene trasmesso ad un microelaboratore interno che trasforma il dato ricevuto in una misura di distanza, nota la velocità di propagazione dell’impulso nel mezzo considerato e il tempo di volo.



Questo principio è lo stesso utilizzato dalle stazioni totali topografiche ad impulsi.

Anche le stazioni totali di ultima generazione possono essere programmate per lavorare in modalità “scanner” ma la velocità d’acquisizione (e quindi la densità di punti rilevabili nel tempo e nello spazio) è generalmente più bassa di uno laser scanner.

Nelle stazioni totali il calcolo della distanza avviene effettuando misurazioni ripetute, che permettono di ottenere accuratezze di misura elevate ed eliminare gli errori di tipo grossolano.



Gli scanner laser, invece, utilizzano sistemi per la deflessione del segnale che permettono piccolissime rotazioni ed utilizzano algoritmi semplificati per l'elaborazione del segnale di ritorno. Questo implica una minore accuratezza rispetto ai distanziometri topografici, gli scanner basati su TOF sono caratterizzati da una deviazione standard sulla misura delle distanze che è sempre maggiore di alcuni millimetri rispetto alle stazioni totali.

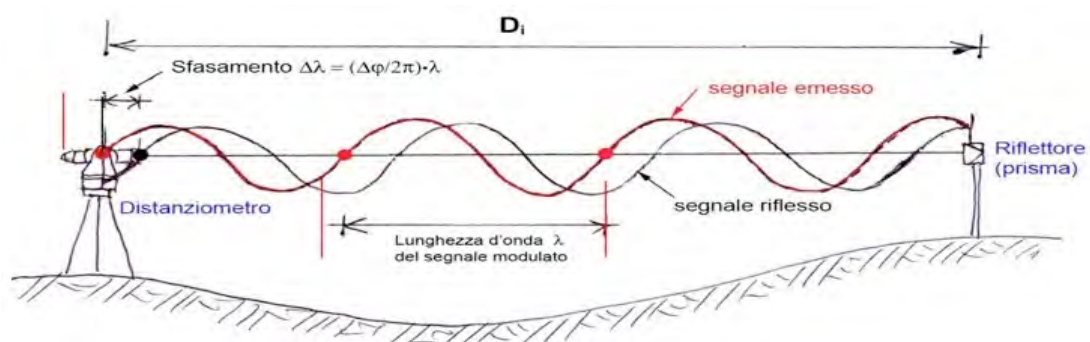
Sistemi di misura a differenza o modulazione di fase

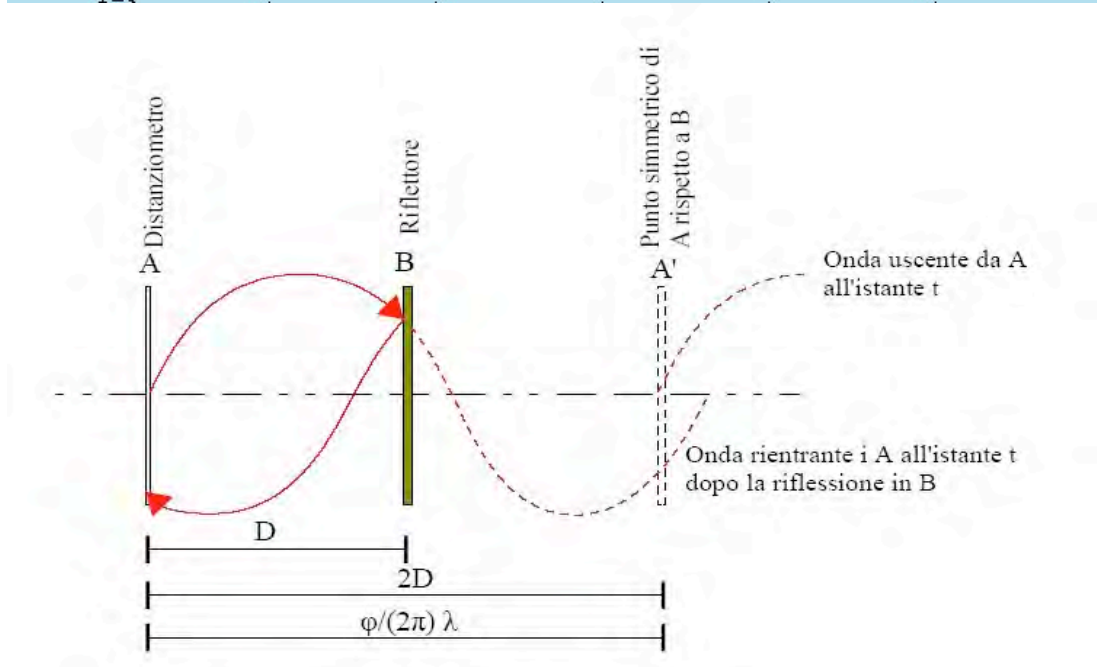
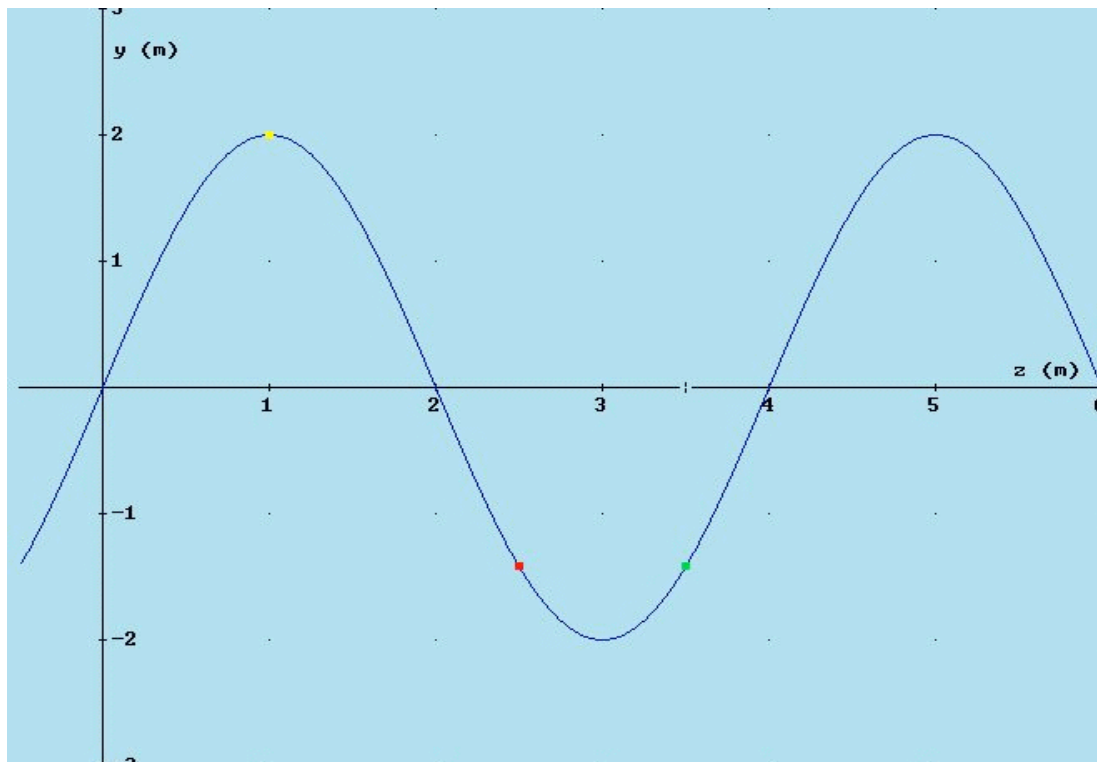
Il metodo di comparazione della fase opera grazie ad un raggio trasmesso che viene modulato da un'onda armonica; tale tecnologia è utilizzata sia in numerosi distanziometri elettronici, che in alcuni scanner laser.

La distanza viene calcolata comparando la differenza di fase tra l'onda trasmessa e quella ricevuta.

Questo sistema, utilizzando particolari algoritmi di elaborazione del segnale, può permettere di ottenere risultati di elevata accuratezza.

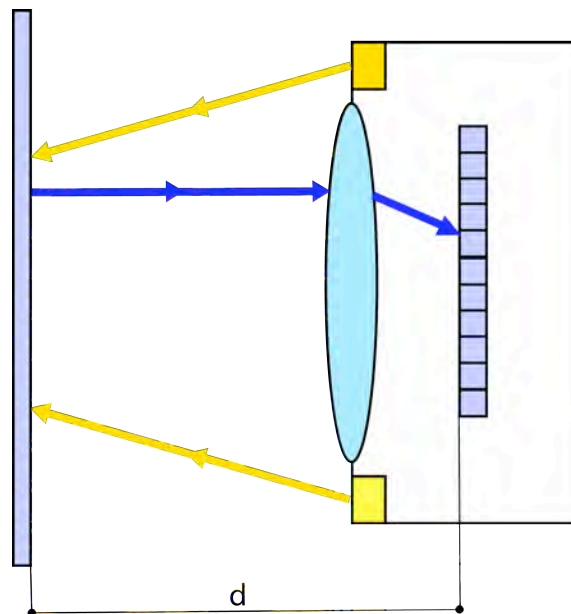
La necessità di risolvere eventuali ambiguità di fase generalmente limita la portata in distanza di tali strumenti.





Le Camere T.o.F.

Le Camere ToF (Time of Flight) ovvero a “tempo di volo” sono anche note con il nome di “camere 3D”. Esse offrono la possibilità di acquisire nuvole di punti in



tempo reale, con tempi assimilabili a quelli delle comuni videocamere

In genere, le camere ToF forniscono per ciascun istante di misura (ad esempio 20 volte al secondo) i seguenti dati:

La nuvola di punti (x,y,z)

L'immagine di distanza, L'immagine di ampiezza, L'immagine di confidenza

Attualmente le camere ToF sono dotate di sensori CCD o CMOS di limitate dimensioni e hanno in genere una portata di misura compresa tra 0,3 m e 30 m con precisioni centimetriche nella misura della distanza se opportunamente calibrate.

Camera	Risoluzione sensore (pixel x pixel)	Intervallo di misura (m)	Precisione di misura della distanza (m)	Peso (kg)
Cam Cube 2.0(PMD Tech)	204 x 204	0.3 / 7	+/-0.01 / 0.03	1.436
Swiss Ranger 4000 (Mesa Im.)	144 x 176	0.3 / 10	+/-0.015	0,470
Optricam DS10K-A Optra NV	120 x 90	0.3 / 10	+/-0.03	n.d.
Fotonic B70 Fotonic	160 x 120	0.1 / 7	+/-0.015	1.049

Rispetto ai laser scanner attuali:

PRO:

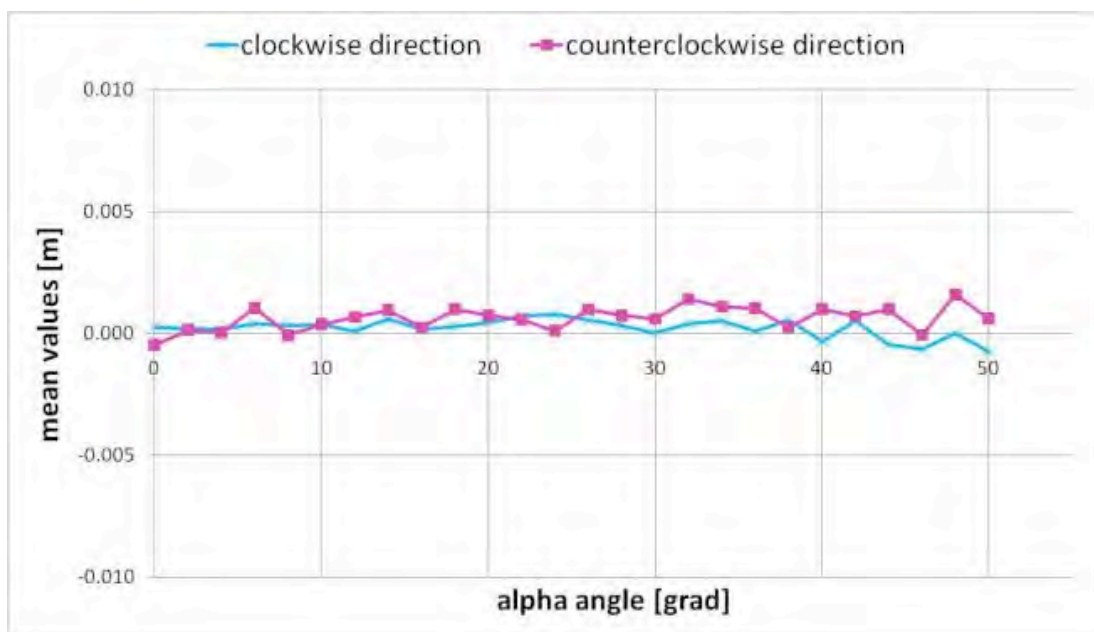
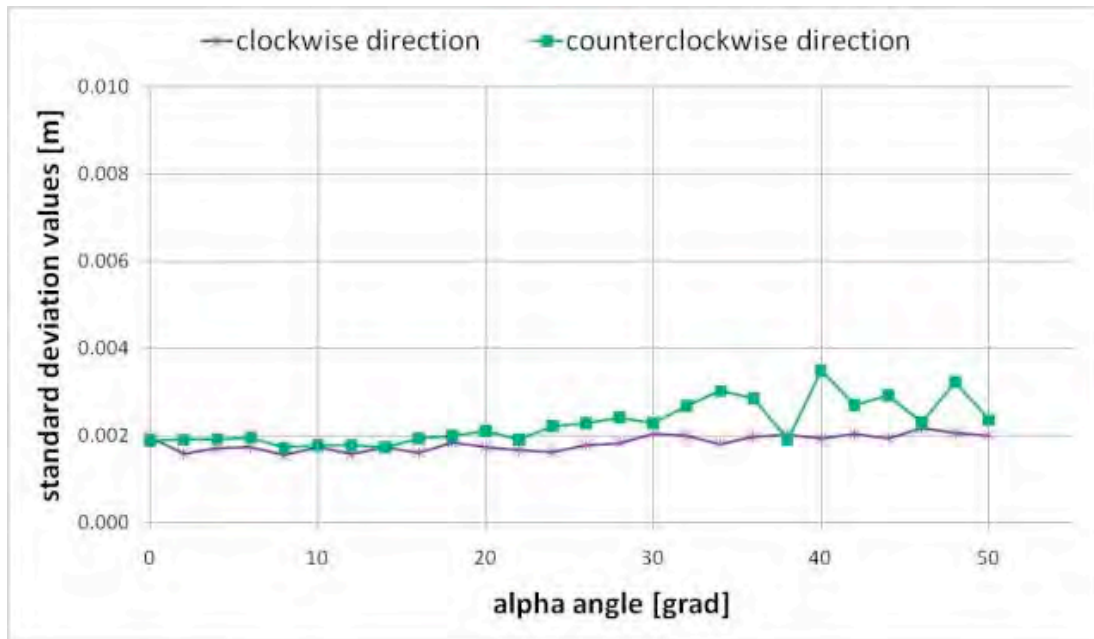
Più veloci, meno costose, più maneggevoli

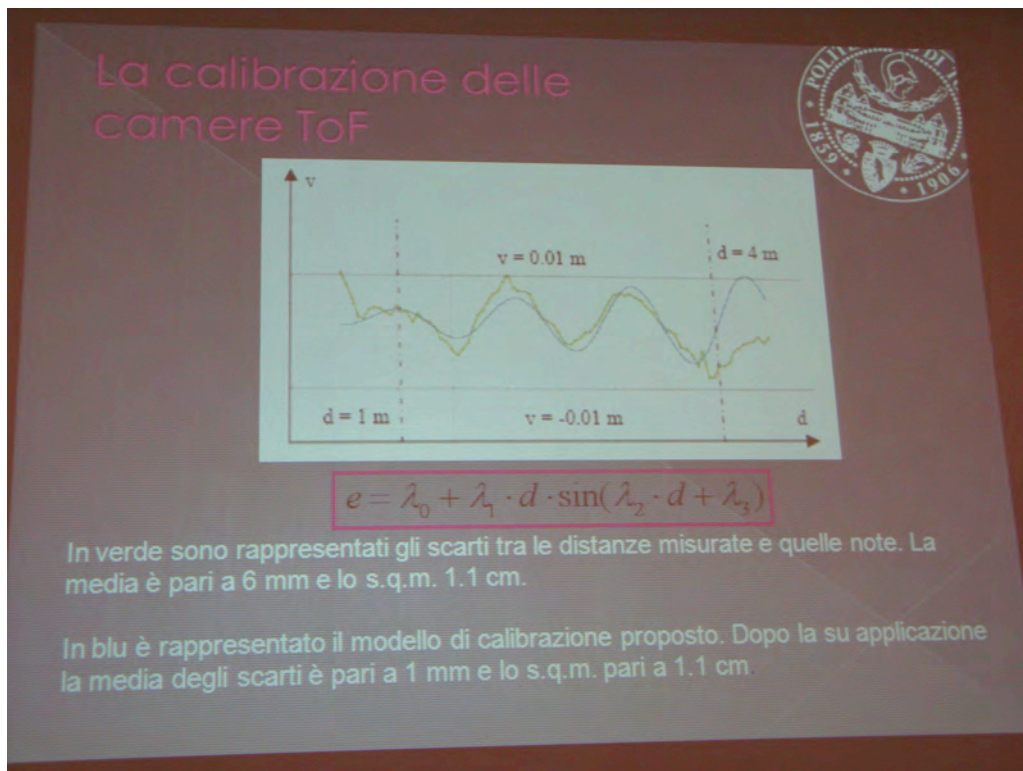
CONTRO:

Hanno portata limitata, hanno campo di ripresa limitato, non hanno possibilità di registrare la radiometria

I limiti operativi delle camere ToF ne consentono oggi l'uso per il rilievo di oggetti di limitate dimensioni.

Allo stato attuale infatti le camere ToF sono ancora utilizzate in modalità statica senza sfruttare la loro potenzialità di funzionare come videocamere che consentirebbe di ampliare notevolmente i campi applicativi.





Prospettive future

Nel rilievo metrico in genere per produrre elaborati 2D o 3D servono le linee di discontinuità geometriche non miliardi di punti.

Le nuvole di punti rilevano tutto ma non le linee di discontinuità geometrica.

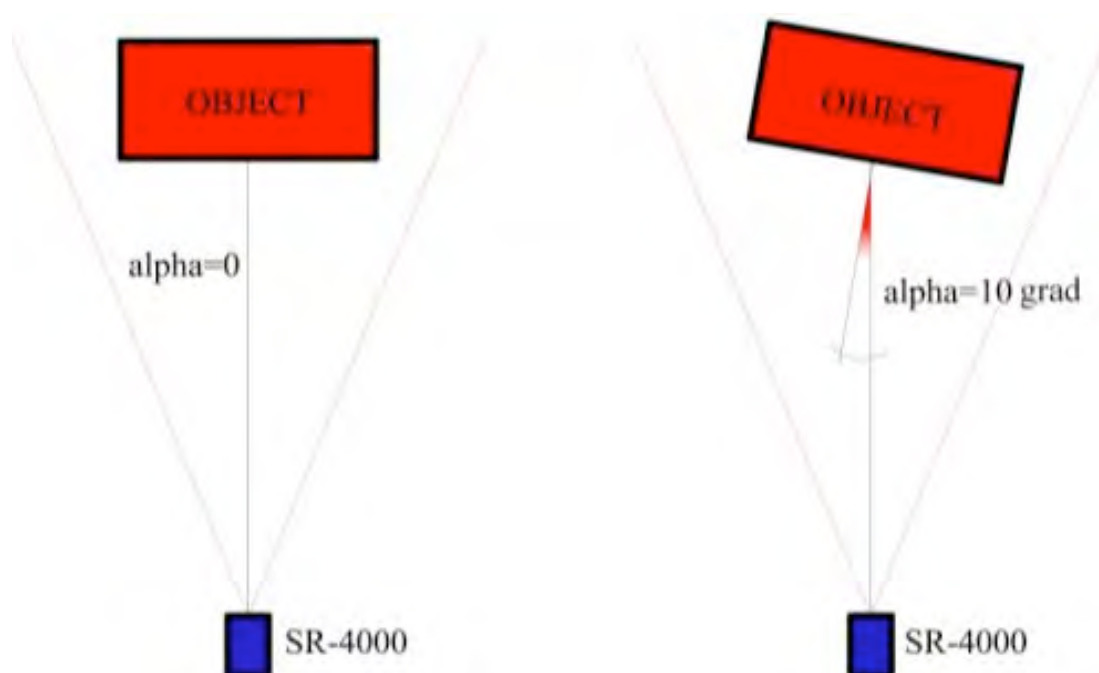
Esse si possono ricavare a costo di pesanti elaborazioni delle nuvole di punti

La fotogrammetria digitale moderna lavorando su più di due immagini può estrarre automaticamente le linee di discontinuità geometrica a patto di avere a disposizione un modello di forma approssimato dell'oggetto

In Futuro le nuvole di punti saranno solo un ausilio alla fotogrammetria digitale multi-immagine

In futuro (forse tra poco meno di un anno) le camere ToF potranno lavorare in modalità videocamera e riprendere spazi più ampi di quelli attuali (aumentano le

distanze operative e si elaborano tecniche di registrazione rapida delle sequenze di immagini)



1.4 Il photo scanning.

Con il termine fotogrammetria si intendono tutte quelle procedure che utilizzano immagini fotografiche di un oggetto per ricavarne le dimensioni. Effettuare il rilievo di un oggetto significa ricavare la posizione spaziale di tutti i punti di interesse. Mediante la fotogrammetria questa operazione viene fatta, in gran parte, non direttamente sull'oggetto ma operando su immagini fotografiche.

La fotogrammetria è una tecnica di rilievo le cui origini sono antiche almeno quanto l'invenzione della fotografia e la cui teoria è stata sviluppata perfino prima della stessa invenzione della fotografia, come pura geometria proiettiva. La fotogrammetria, sebbene nasca per il rilievo delle architetture, si sviluppa principalmente per il rilevamento del territorio, ed è stata, fino alla fine del secolo scorso, applicata in gran parte come "fotogrammetria aerea".

Indubbiamente possiamo considerare la fotogrammetria come il primo tentativo di oggettivizzare scientificamente la fase "ensoria" del rilevare, fatto salvo ovviamente il valore interpretativo del rilievo e cioè della restituzione, oggettività che deriva dal fatto che le misure vengono prese non sull'oggetto attraverso modelli logici predeterminati ma indirettamente da prese fotografiche opportunamente e specificamente predisposte, fornendo così per la prima volta un patrimonio oggettivo di misure aventi in assoluto valore documentario a prescindere dall'interpretazione del rilievo. In tal senso possiamo considerare tutti i successivi tentativi (quali quelli del laser scanning o della produzione di nuvole di punti in generale) figlia della ricerca in campo fotogrammetrico e del suo portato - istanza di oggettività del dato metrico.

Come fa notare Mario Fondelli "Il rilevamento architettonico si realizza sempre mediante due fasi operative distinte e concatenate che comportano, nell'ordine, l'acquisizione dei dati direttamente o indirettamente misurati sulle diverse strutture interessate, e la successiva restituzione per ricavarne le descrizioni grafiche e

numeriche richieste. Tale rilevamento può essere sviluppato sia col metodo classico o manuale, sia col metodo fotogrammetrico, o con la integrazione dei due metodi.

L'applicazione del metodo classico comporta l'impiego di longimetri e di semplici strumenti di misura angolare o di pendenze. Esso consiste nel rilevamento di un numero finito di punti caratteristici, utili per la successiva interpolazione di linee o delimitazioni di carattere strutturale.

I tempi indispensabili per il rilevamento in loco sono essenzialmente funzione del numero dei punti discreti da considerare, che deriva soprattutto dalle ipotesi avanzate sulla regolarità delle differenti linee rette o curve architettoniche, e dalla selezione degli elementi strutturali inizialmente prescelta per la rappresentazione.

In effetti, la metodologia classica di rilevamento architettonico si sviluppa a partire da un modello ideale della struttura considerata, che sovrintende al processo di misura; la selezione dei punti caratteristici risulta tanto più facile quanto più semplice è la conformazione dell'oggetto da rilevare, tanto meno facile quanto più complessa essa appare. In quest'ultimo caso, e nelle parti più difficilmente accessibili, come la curvatura delle volte, le misure risultano giocoforza tutte molto imprecise.

La restituzione grafica si effettua quindi per interpolazione tra i punti discreti e gli elementi geometrici prescelti, sviluppandosi soprattutto sulla base della memoria dell'operatore, per cui la restituzione deve immediatamente seguire sempre le operazioni di misura sui manufatti rilevati. I risultati ottenuti col metodo classico risultano pertanto molto soggettivi ed in gran parte lacunosi.

L'applicazione della metodologia fotogrammetrica, nel rilevamento delle architetture, comporta invece la realizzazione di un insieme finito di fotogrammi, ottenuti da una camera metrica, e di alcune misure indispensabili alla successiva restituzione dell'insieme.

Questa metodologia costituisce uno degli strumenti più efficienti per il rilevamento architettonico, poiché prescinde da ogni schema preliminare e consente di operare in maniera sicura ed immediata, senza pregiudicare in alcun modo lo stato di

conservazione delle opere esaminate, riducendo al minimo indispensabile le misure su di esse.

L'applicazione di questa metodologia permette poi di ricavare delle informazioni del tutto obiettive sui diversi elementi strutturali architettonici considerati, indipendenti da ipotesi precostituite sulle forme geometriche degli stessi e sulla giacitura spaziale che ciascuno sembra presentare.

Gli elaborati grafici e numerici forniti dalla metodologia fotogrammetrica presentano quindi un valore documentario prezioso ed inestimabile nello studio e nella salvaguardia dei monumenti architettonici, ove l'esperienza finora raccolta consiglia sempre di diffidare dei tradizionali concetti di verticalità, di orizzontalità, di parallelismo e di simmetria delle linee e delle forme geometriche, concetti sui quali riposano sovente le ricostruzioni grafiche delle rappresentazioni architettoniche.

Il contributo offerto da questa metodologia si segnala, in questo settore, proprio nell'individuazione e nella determinazione delle più piccole anomalie e discrepanze, molto frequenti nelle antiche strutture architettoniche, e nel rilevamento dettagliato ed analitico dei cedimenti, di fratture, di deformazioni e dissesti vari. "¹

Indubbiamente uno degli aspetti che ha maggiormente ostacolato la diffusione della fotogrammetria in molti settori è rappresentato dall'elevato costo e complessità degli apparecchi usati per svolgere le operazioni fotogrammetriche.

¹ M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza

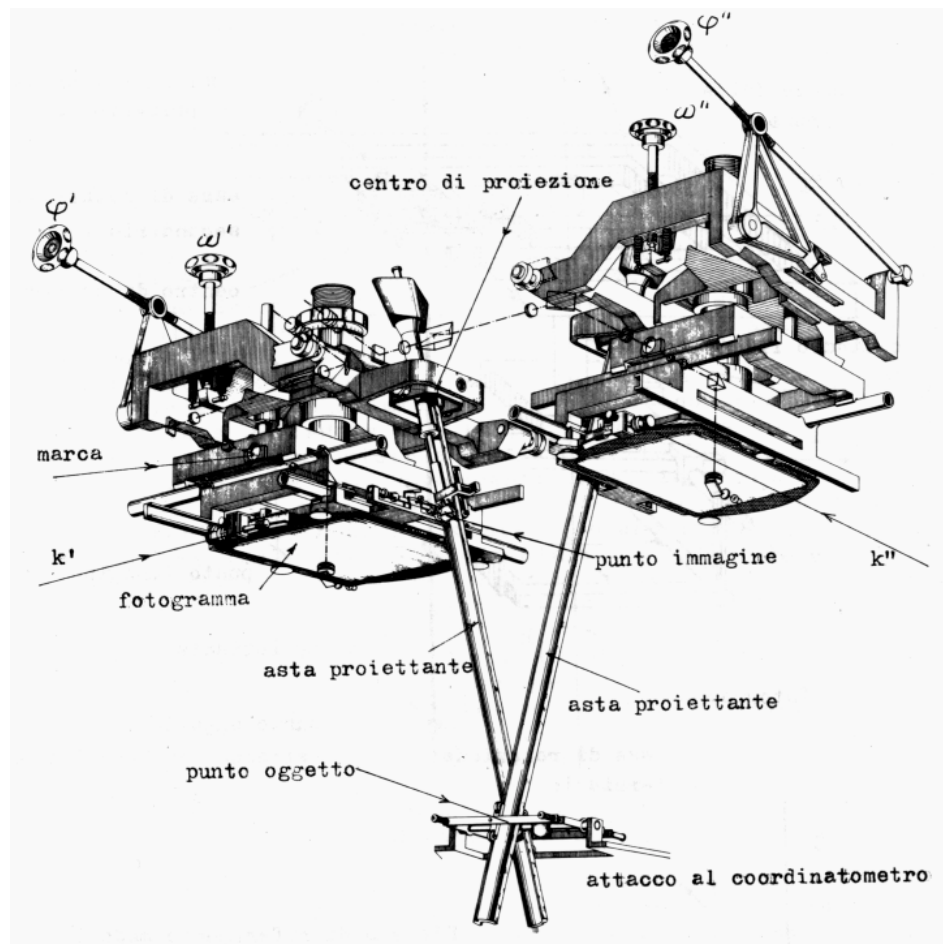


fig.01 – Stereosimplex G6 - gruppi camere proiezione ed aste proiettanti

La recentissima, disponibilità e diffusione di calcolatori in grado di manipolare grosse quantità di dati, unitamente ai progressi tecnologici nella computer grafica ha permesso di eseguire molte elaborazioni del processo di rilievo fotogrammetrico in ambiente digitale. Questo ha fatto sì che, le costose e complesse strumentazioni ottico-meccaniche utilizzate nel passato, in parte si rendessero non più indispensabili ed in parte divenissero perfino obsolete.

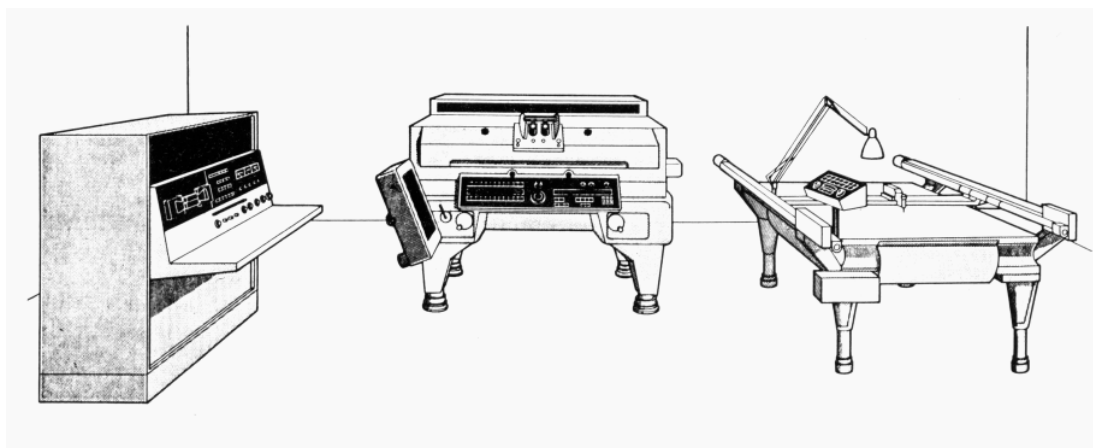


fig.01 – L'analytical plotter AP/C. Vista d'insieme dei vari componenti il sistema di restituzione analitica

Proprio grazie a questa evoluzione della tecnologia verso il digitale, si è avuto, nell'ambito della fotogrammetria, una rapida diffusione ed uno sviluppo che ha portato ad applicare più frequentemente e più estesamente questa metodologia di rilievo ad altri settori dove raramente veniva utilizzata.

Attualmente (ed è la cosa che in questo studio più interessa) la fotogrammetria ha assunto aspetti per certi versi sorprendenti poiché, grazie al digitale e allo sviluppo dei software, tale tecnica, che rischiava di divenire obsoleta grazie all'introduzione delle nuove tecnologie di scansione del territorio (laser scanner, GPS, LIDAR ecc...) sta tornando invece con prepotenza nel panorama attuale delle tecniche di rilevamento architettonico, spesso sorpassando negli esiti proprio quelle tecniche che minacciavano di sostituirla.

Vedremo più avanti, infatti, che utilizzando software avanzati e tecniche puramente fotogrammetriche è possibile ottenere precisissime nuvole di punti semplicemente attraverso scatti fotografici calibrati.

Tali nuvole di punti sorprendono per precisione e qualità tanto da essere paragonabili a quelle della tecnica del laser scanning, ma (e questo le rende imbattibili) imparagonabili in quanto ad economicità e semplicità di ottenimento. A questo si

aggiunge che tali nuove tecniche fotogrammetriche coprono campi applicativi sconosciuti attualmente ad ogni altra tecnica di produzione di nuvole di punti, come (ad esempio) quello dei rilievi subacquei (dove il laser scanner è inutilizzabile a causa della deviazione dei raggi laser) o quello dei rilievi a livello dei microscopico. Per tali considerazioni non è affatto azzardato affermare che la stereofotogrammetria digitale moderna anziché rappresentare il passato, rappresenta invece il futuro evolutivo del rilevamento attraverso le nuvole di punti.

Naturalmente anche per la stereofotogrammetria digitale moderna vi sono limiti applicativi precisi che analizzeremo in seguito e che rende indispensabile l'integrazione con altre tecniche di rilevamento.

Prima di occuparci nel dettaglio di tali nuove acquisizioni, però, è bene definire, seppur in modo sommario, alcuni aspetti e principi che servono sia a capire il funzionamento della fotogrammetria avanzata che di quella classica, a tutt'oggi è ancora ampiamente utilizzata in molti campi, soprattutto per quanto riguarda i rilievi del territorio e nei fotoraddrizzamenti delle cortine edilizie in campo architettonico.

Anche se ormai è ampiamente diffusa nella prassi corrente e tra i non specialisti, tuttavia la fotogrammetria classica rimane comunque una disciplina specialistica che richiede competenze vaste e grande esperienza per poter essere applicata con risultati attendibili.

"La fotogrammetria rappresenta ormai uno strumento di acquisizione di dati metrici e tematici tra i più affidabili e più immediati, e va estendendo sempre più la sua diffusione e le sue applicazioni. Essa costituisce infatti una procedura di rilevamento, prospezione e documentazione - di rara efficacia - delle realtà territoriali, ambientali, urbane e architettoniche. Tali peculiari caratteristiche, non invasive e non distruttive, la qualificano meglio di ogni altra metodologia di rilevamento e prospezione nella individuazione e misura delle più minute modificazioni morfologiche degli oggetti considerati, e nella lettura dei vari aspetti specifici della loro definizione spaziale, talvolta non evidenti alla normale osservazione visuale.

Inoltre le nuove modalità fotogrammetriche nella rappresentazione e nella documentazione degli oggetti considerati consentono descrizioni grafiche e numeriche più pertinenti e assicurano la possibilità di istituire periodici e sistematici controlli dei loro stati di consistenza ai fini della salvaguardia e conservazione. Queste caratteristiche della metodologia fotogrammetrica la rendono particolarmente utile nel settore dei beni culturali."²

Innanzitutto è bene soffermarci un attimo sulla definizione di Fotogrammetria.

"Dopo varie definizioni, tentate fino dagli esordi, è stato introdotto, a partire dal 1903, da Albrecht Meydenhauer il termine fotogrammetria per individuare l'insieme dei processi di utilizzazione delle prospettive fotografiche centrali nella formazione di cartografie topografiche e nella documentazione architettonica.

Per le specifiche applicazioni che ne vengono fatte, la metodologia prende il nome di fotogrammetria terrestre, allorché le prese vengono effettuate alla superficie del suolo, e il nome di fotogrammetria aerea, quando esse vengono effettuate da piattaforma spaziale aerea.

Nella prassi consolidata tale metodologia viene tuttavia identificata come fotogrammetria dei vicini, o Close-Range Photogrammetry, quando gli oggetti interessati risultano situati ad una distanza inferiore a 300 m circa, dalla camera da presa fotogrammetrica; e come fotogrammetria dei lontani, quando gli oggetti sono situati a distanze maggiori. Il limite dei 300 m costituisce anche la delimitazione della quota di sicurezza per le riprese da aeromobile.

Nell'uso comune, dati soprattutto i suoi interessi prevalentemente territoriali, la metodologia viene infine suddivisa in fotogrammetria topografica e in fotogrammetria non topografica. Nell'ambito della prima rientrano i rilevamenti urbani; nell'ambito della seconda gravitano invece i rilevamenti architettonici e degli oggetti mobili."³

² - M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza

³ - M.Fondelli - Trattato di Fotogrammetria urbana e architettonica - Ed. Laterza

I principi teorici

A livello teorico l'applicazione fotogrammetrica comporta la risoluzione di un problema di fondo che è quello di relazionare lo spazio oggetto tridimensionale con lo spazio immagine bidimensionale in maniera univoca e così da poter far corrispondere punti discreti, opportunamente scelti, nei due sistemi di grandezze. Superato questo obbiettivo sarà poi possibile relazionare qualsiasi punto del continuo spazio immagine al corrispondente punto nello spazio oggetto.

In fotogrammetria si individuano pertanto tre tipi di grandezze:

le coordinate 3D (X,Y,Z) dell'oggetto;

le coordinate 2D (x,y) dell'immagine;

i valori dei parametri di orientamento G;

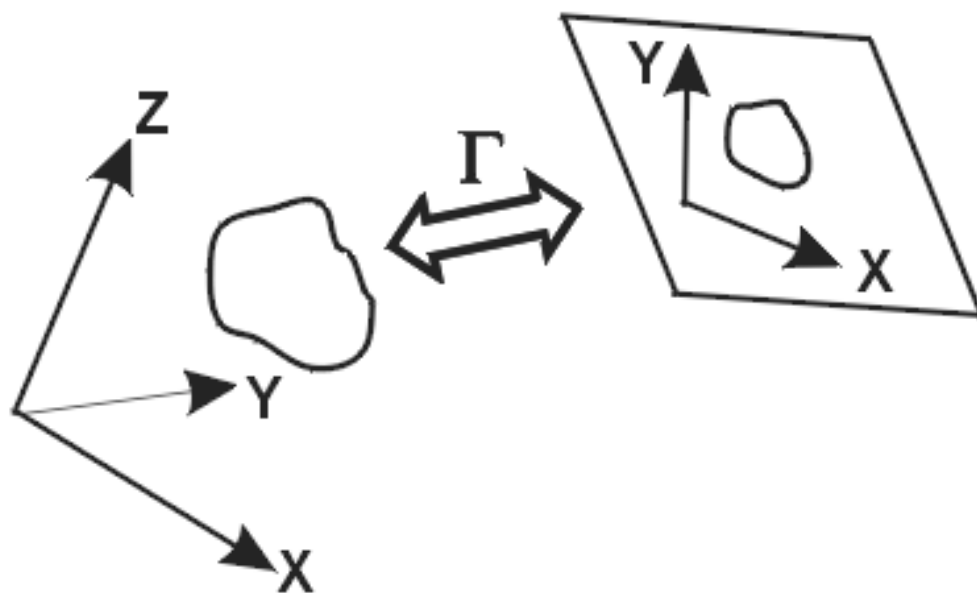


fig.01 – lo spazio oggetto tridimensionale e la relazione con lo spazio immagine bidimensionale

Per meglio chiarire quanto sopra si danno le seguenti definizioni:

per “spazio oggetto” si intende l'oggetto da rilevare nella sua volumetria;

per “spazio immagine” si intende la ripresa fotografica dell'oggetto da rilevare;

per "*punti discreti*" si intendono dei punti, che siano ben individuabili sia sull'oggetto che sull'immagine fotografica dello stesso.

i "*parametri di orientamento*" sono quelli che governano i rapporti fra lo spazio oggetto 3D e quello immagine 2D: essi esprimono le caratteristiche del mezzo fotografico e il suo posizionamento fra i due tipi di spazi;

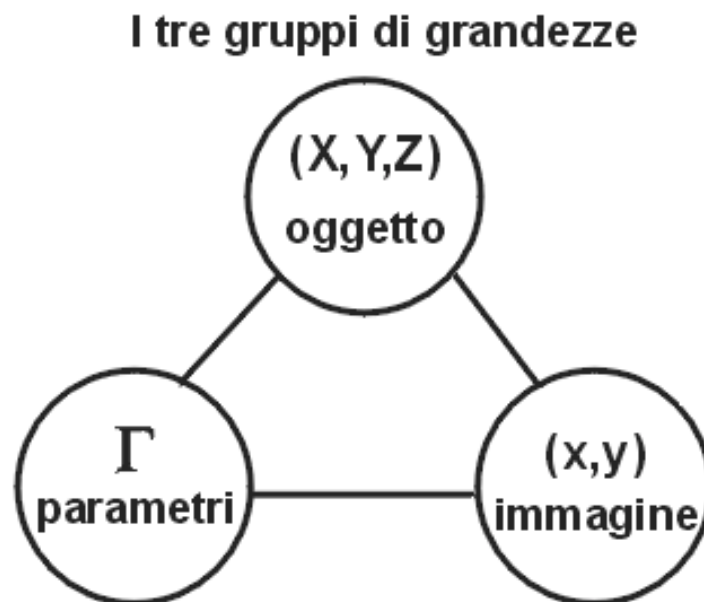


fig.02 – i tre gruppi di grandezze

Inoltre, nel processo di rilevamento fotogrammetrico, si individuano tre fasi principali nelle quali le menzionate grandezze vengono relazionate in maniera differente:

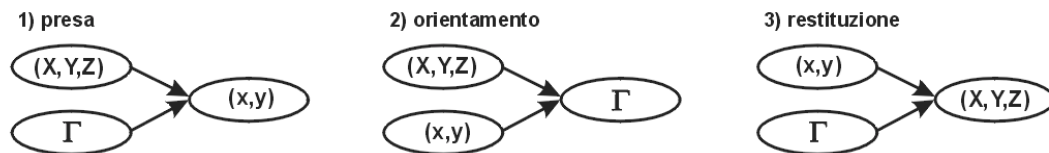


fig.03 – le fasi del rilievo fotogrammetrico

Fase di presa:

nella presa sono assegnati due gruppi di parametri: l'oggetto del rilievo (X,Y,Z) e la fotocamera, (posizione e tipo di fotocamera: ovvero i parametri G della trasformazione).

Fase di orientamento:

ancorché fissati nella fase precedente, e dunque per questo conoscibili fin da allora, si preferisce determinare a posteriori il gruppo G dei parametri della trasformazione; questa determinazione si chiama orientamento e si effettua disponendo di un certo numero di punti di cui si conoscano le posizioni nei due spazi in modo da poter risalire ai parametri della trasformazione.

Fase di restituzione:

con i parametri ormai noti, si possono ora trasformare gli spazi immagine 2D nello spazio oggetto 3D quindi dar luogo alla restituzione dell'oggetto rilevato.

La relazione fra lo spazio 2D di e lo spazio 3D è nota come “*proiettività*” ed è governata da precise relazioni matematiche e geometriche: il problema è affrontabile infatti sia per via analitica che attraverso la geometria descrittiva.

In altre parole, si può affermare che fra i due spazi esiste una proiettività quando è possibile trovare una matrice A , fungente da operatore di trasformazione, tale che, individuato un generico punto oggetto P , che descrive lo spazio 3D, (detto spazio oggetto), esista un corrispondente punto P' che descrive lo spazio 2D, (detto spazio immagine).

Omettiamo in questo discorso le formulazioni analitiche del calcolo matriciale che traducono l'impostazione teorica del problema, tuttavia la relazione di cui sopra è schematizzabile con la seguente:

$$u = A \cdot U$$

dove u è una matrice colonna con le coordinate bidimensionali (dello spazio immagine), A è la matrice di trasformazione, (contenente i parametri di orientamento), ed U è una matrice colonna con le coordinate tridimensionali, (dello spazio oggetto). Il problema così strutturato può essere infine esplicitato in sistemi di equazioni che conducono a varie dimostrazioni per via analitica.

Per poter calcolare i 12 parametri della matrice A , (fungente da operatore di trasformazione), sono necessarie almeno 12 equazioni: occorre un insieme di punti noti nei due spazi; ogni punto consente di scrivere due equazioni. Con un minimo di sei punti si ricavano tutte le incognite.

Una delle dimostrazioni più importanti, al fine di comprendere l'impostazione teorica del rilievo fotogrammetrico, è quella in cui si esprimono le coordinate bidimensionali x,y (spazio immagine), in funzione di quelle tridimensionali X,Y,Z (spazio oggetto): il sistema di equazioni in questo caso non fornisce una sola soluzione. Ad un punto 2D corrispondono infatti infiniti punti 3D, tutti quelli che si ottengono fissando il valore di una delle tre coordinate (la Z per esempio), ed ottenendo così le restanti due. Al variare della Z , da $-$ a $+$: il punto oggetto P , descrive così una retta detta retta proiettiva, congiungente il punto immagine P' al punto oggetto P .

Da quanto sopra esposto, si intuisce che nella risoluzione del problema fotogrammetrico una sola immagine, rappresentante lo spazio oggetto e relazionata ad esso tramite parametri di orientamento, non dà luogo ad una sola soluzione, e pertanto si può enunciare la seguente:

"Da una sola fotografia non è possibile ricavare misure tridimensionali a meno che non si pongano particolari vincoli riguardanti la forma dell'oggetto. Nel caso

generale per poter effettuare misure tridimensionali occorre considerare più foto dell'oggetto."

Una sola retta proiettiva non è dunque sufficiente per la ricostruzione del punto oggetto. Mentre dallo spazio oggetto si genera lo spazio immagine, da un solo spazio immagine non è possibile risalire allo spazio oggetto che lo ha generato.

Lo schema grafico di figura 01, in relazione ad un rilievo fotogrammetrico, sarà dunque più propriamente sostituito dallo schema seguente di figura 04.

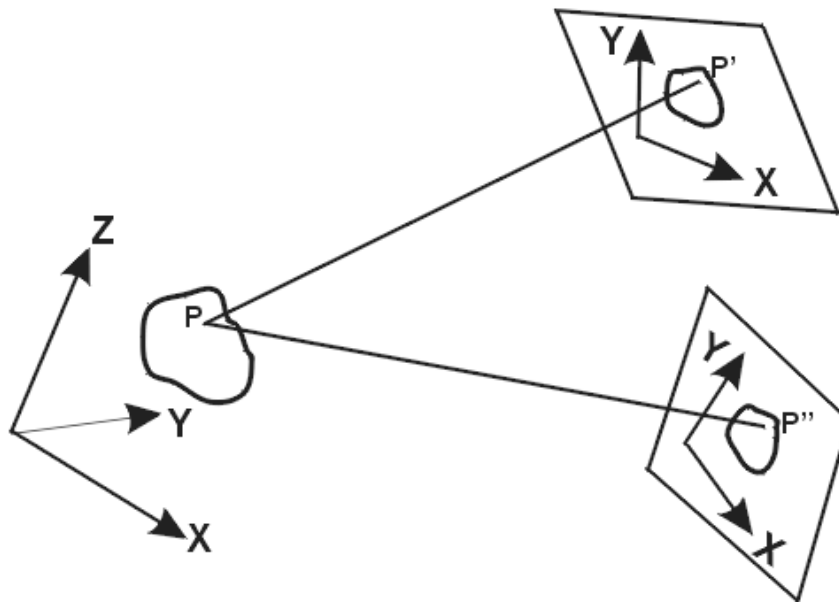


fig.04 – la risoluzione del problema fotogrammetrico con P' e P'' punti omologhi

Ed inoltre si aggiunge: date due o più fotografie si chiamano punti omologhi le diverse rappresentazioni sui due fotogrammi dello stesso particolare. Al momento dello scatto ciascun punto fotografico, il suo corrispondente punto oggetto ed il centro di proiezione giacciono su di una retta.

Il punto origine O di coordinate (X_o, Y_o, Z_o) viene detto centro della proiettività. Per esso passano tutte le rette proiettive in quanto le sue coordinate corrispondono a una qualunque coppia (x,y) di coordinate immagine. I parametri della matrice di

trasformazione sono propri dell'insieme di rette passanti per il centro della proiettività, o centro di proiezione. L'insieme delle rette proiettive si definisce stella o fascio proiettivo.

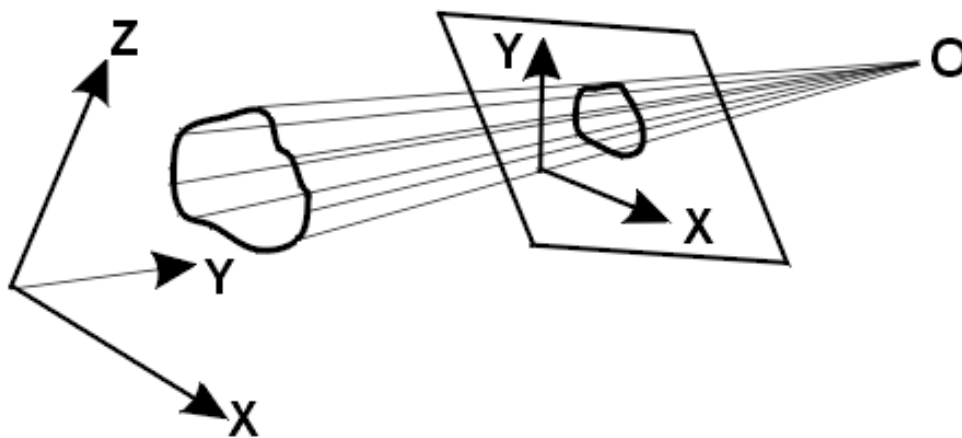
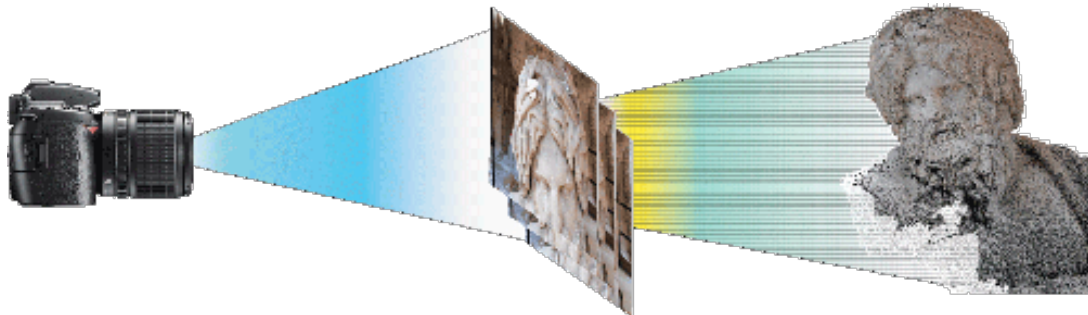


fig.05 - il centro della proiettività

Come già anticipato, è necessario conoscere dei punti, detti "punti noti", in ambedue gli spazi, (spazio oggetto e spazio immagine): questi dovranno essere presenti ed individuabili in ambedue le prese fotografiche, (nei due spazi immagine), come punti omologhi. Il numero di questi punti dovrà essere almeno di sei, anche se teoricamente si riducono a tre e praticamente possono essere anche cinque per coppia di immagini, (grazie a considerazioni matematiche, all'utilizzazione di misurazioni di calibrazione ed a proprietà geometriche).

Il sistema di rilevamento fotogrammetrico tramite coppie di prese fotografiche, (ovvero la determinazione dello spazio oggetto attraverso due spazi bidimensionali), viene detto rilievo fotogrammetrico stereoscopico proprio in virtù della registrazione visiva "stereo-scopica" dell'oggetto.



Il sistema z scan

ZScan é uno strumento per l'acquisizione di nuvole di punti mediante l'uso di una camera fotografica digitale, una slitta di precisione e un software basato su un innovativo algoritmo proprietario di analisi multifocale dell'immagine.

E' caratterizzato dall'accuratezza sia geometrica che cromatica dei risultati, dalla semplicità e praticità d'uso e dalla robustezza dei suoi componenti.



Il Kit ZScan é composto da:

una fotocamera digitale reflex ad alta risoluzione, dotata di ottica fissa. La camera é sottoposta ad accurata calibrazione eseguita presso i laboratori Menci Software

una slitta di precisione con carrello a ricircolo di sfere (lunghezza 500 o 900 mm) con testa tilt

un treppiede professionale

il software ZScan

Procedure:



piazzare il treppiede, montare la slitta e posizionare la camera sul carrello

2) realizzare una sequenza di tre scatti dalle posizioni calibrate sulla barra. Durante questa fase non muovere il

treppiede

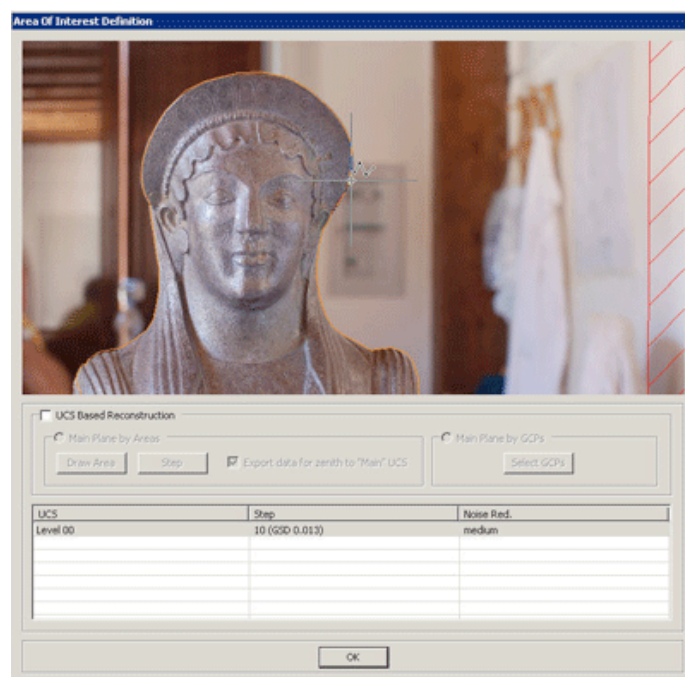


3) ripetere gli scatti da diverse posizioni così da riprendere per intero gli oggetti da ricostruire

Tempo necessario per l'operazione: pari all'esecuzione di 3 fotografie (10-15 sec.)

Procedura software:

1) importare le immagini nel software ZScan



2) definire un'area d'interesse sulle immagini usate per la generazione del modello3d

3) impostare il passo di risoluzione e la base fotografica utilizzata per ogni tripletta

eseguire il processo di generazione. Può essere lanciato anche come procedura batch



Tempo necessario per l'operazione: in funzione della dimensione delle aree e del passo di risoluzione. Un pc standard produce circa 800 punti 3d al secondo

Il processo produttivo di ZScan

Vengono di seguito illustrate le semplici procedure operative necessarie per la scansione 3D di qualunque oggetto fotografabile. Come sarà evidente, il sistema ZScan è completamente automatizzato nei processi di elaborazione e calcolo ed all'operatore non sarà richiesta alcuna competenza specifica o specialistica.

La prima operazione consiste nella scelta del punto di ripresa e nello scatto consecutivo o istantaneo delle 3 immagini che saranno oggetto della restituzione.

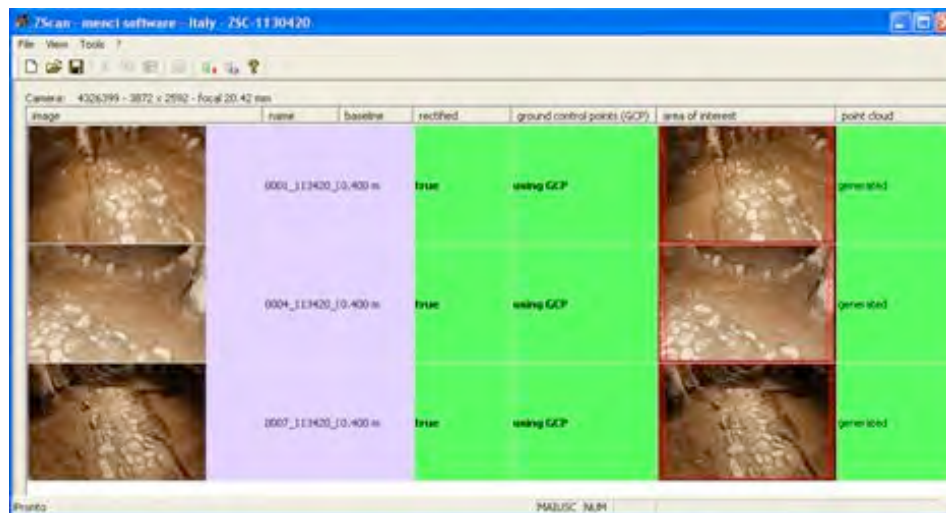
Lo scatto simultaneo di 3 fotocamere poste sull'apposita barra calibrata, garantirebbe le riprese in movimento o da postazioni mobili quali ponteggi o piattaforme aeree.

Le marche distribuite opportunamente sulla scena, benché non necessarie, contribuiscono a costituire un utile supporto di verifica geometrica del modello e ne faciliteranno le successive operazioni di georeferenziazione e quindi l'unione automatica degli eventuali ulteriori modelli 3d.

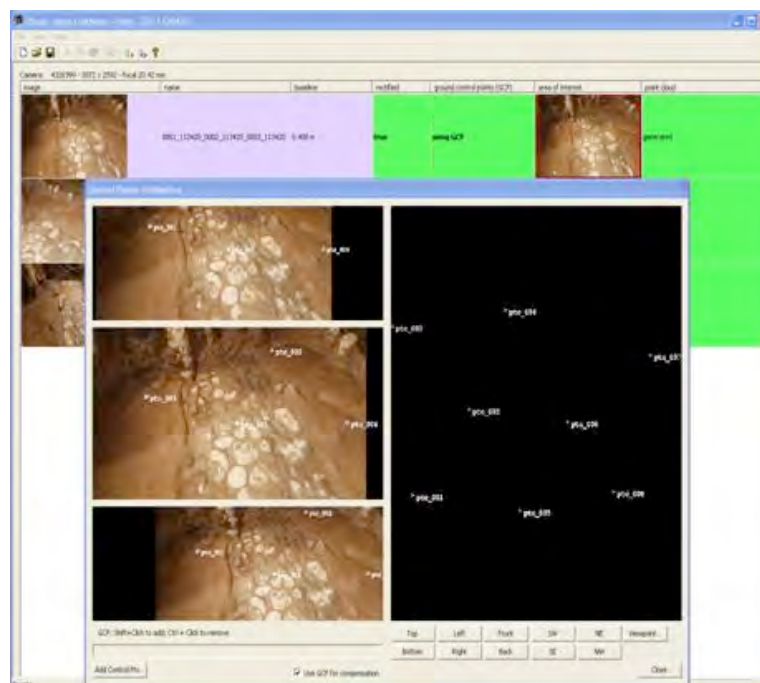


Le immagini riprese, vengono acquisite dal software ZScan attraverso un processo completamente guidato e quindi visualizzate nella finestra di elaborazione.

Viene inserita la distanza di baseline prescelta al momento dello scatto, e lanciati i processi automatici di rettifica.



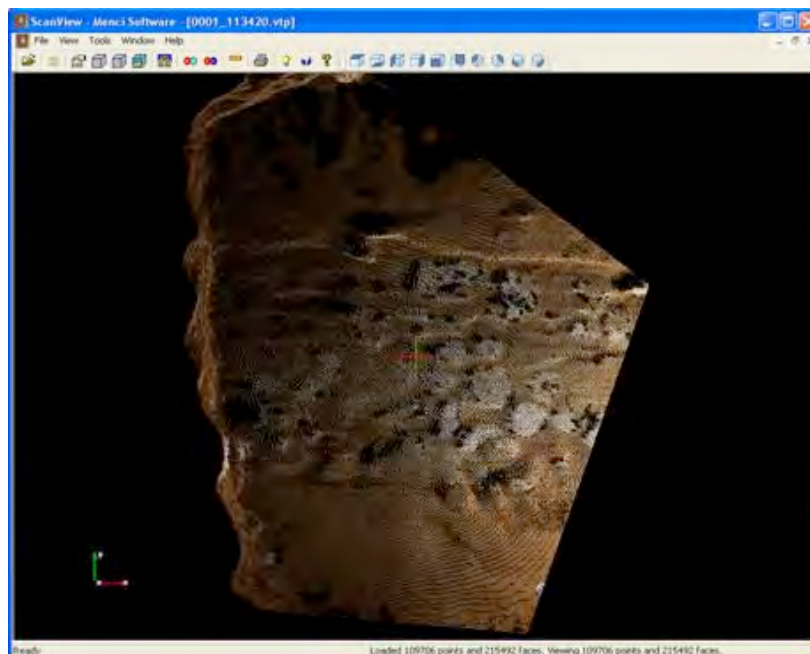
Se disponibili, si procede alla fase di collimazione delle marche di riferimento, identificando sulle immagini i corrispondenti punti di controllo precedentemente



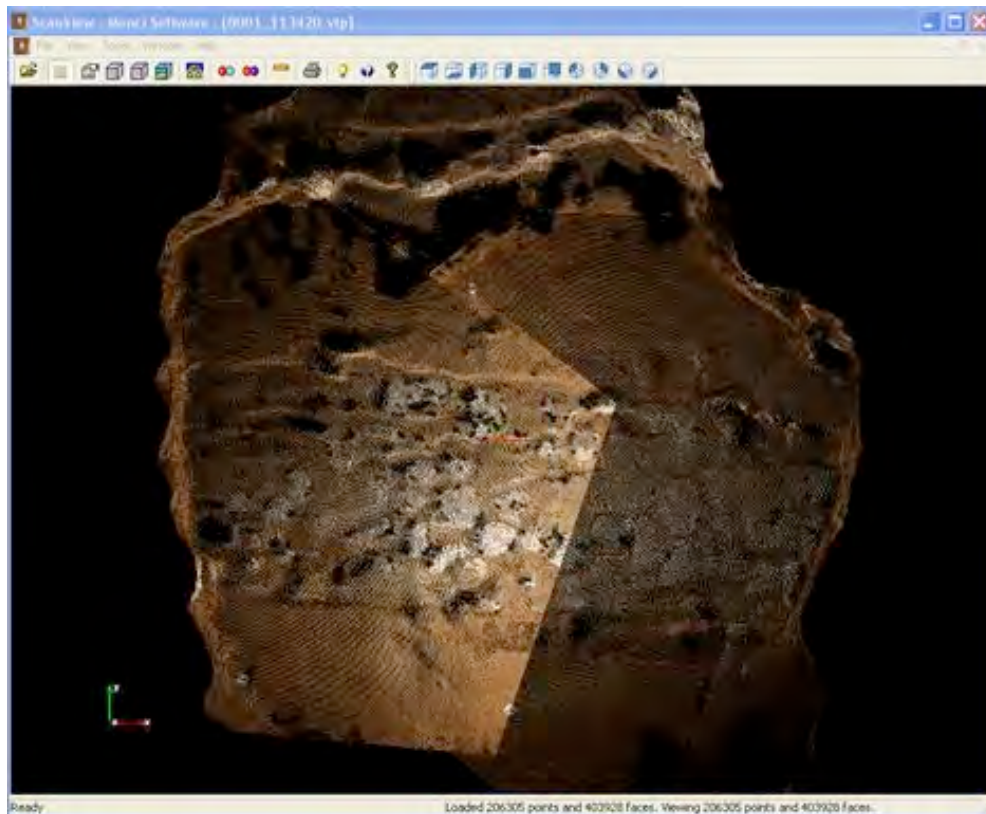
rilevati.

E' possibile inoltre selezionare una o più aree di interesse, assegnando ad ognuna un particolare e diverso passo di restituzione ovvero eliminando zone di restituzione che

A questo punto non resta che avviare la fase automatica di generazione della “nuvola di punti” e nel giro di 2-4 minuti sarà pronto il modello 3D. Ogni singolo punto, oltre ovviamente alle coordinate cartesiane x-y-z- sarà caratterizzato anche dal proprio profilo colore RGB desunto dall’immagine fotografica.

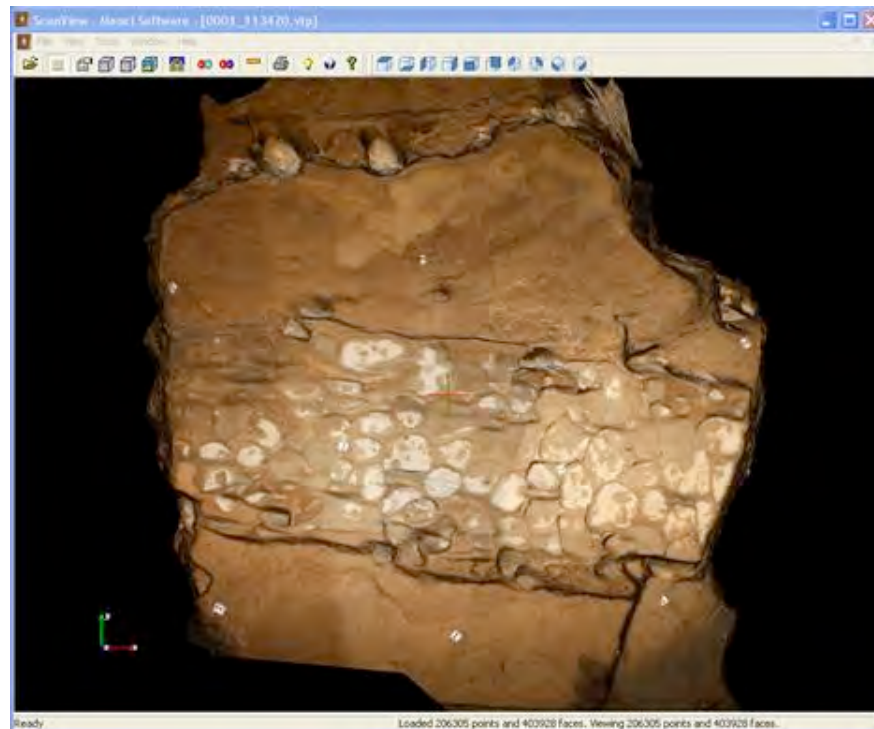


Reiterando le operazioni sopra descritte sui modelli successivi, si potrà quindi ottenere il collage completo dell'oggetto di interesse e visualizzarlo immediatamente nell'apposito software ScanView disponibile a chiunque gratuitamente sul sito WWW.MENCI.COM



Durante la fase di generazione, si potrà optare di procedere alla triangolazione dei punti vicini. In tal modo, oltre la nuvola di punti, sarà generata automaticamente la maglia triangolare 3D

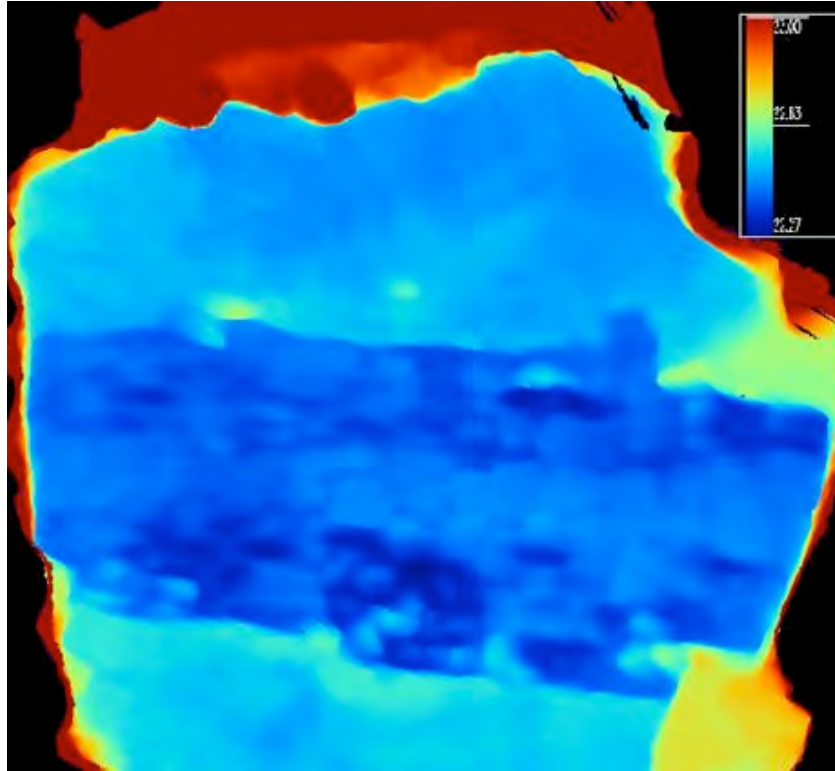
La visualizzazione potrà quindi avvenire anche in formato texture. Associando cioè, ad ogni singolo triangolo derivante dal modello, la propria porzione di immagine ritagliata. Si sarà così ottenuta la perfetta immagine tridimensionale dell'oggetto di ripresa, con possibilità di visualizzazione 3D grazie agli appositi occhiali anaglifici.



Grazie al software gratuito ScanView il modello potrà essere visualizzato da chiunque da ogni punto di vista e misurato spazialmente con l'apposita funzione righello.

Ovviamente il file generato può essere facilmente spedito via Web per eventuali studi ed analisi a distanza.

Il modello a questo punto è pronto per essere esportato per le eventuali e successive fasi di editing con la possibilità di creare, con procedure totalmente automatizzate nei software MENCI, piante, sezioni, profili, ortofoto, curve di livello, DEM (dynamic elevation model) e tutto quanto altro necessario per una concreta ed efficace graficizzazione.



ZScan Micro:

rilievo metrico e radiometrico di oggetti 3D

Questo strumento, basato sulla tecnologia ZScan e composto sia da elementi hardware che software, consente di generare nuvole di punti 3D ad alta definizione su piccoli oggetti. Vanta uno step di risoluzione medio di ben 30 micron. ZScan Micro consente il rilievo indiretto, ovvero senza "toccare"

l'oggetto analizzato e senza punti di controllo. Quindi nessun altro strumento e' necessario per completare il rilievo.

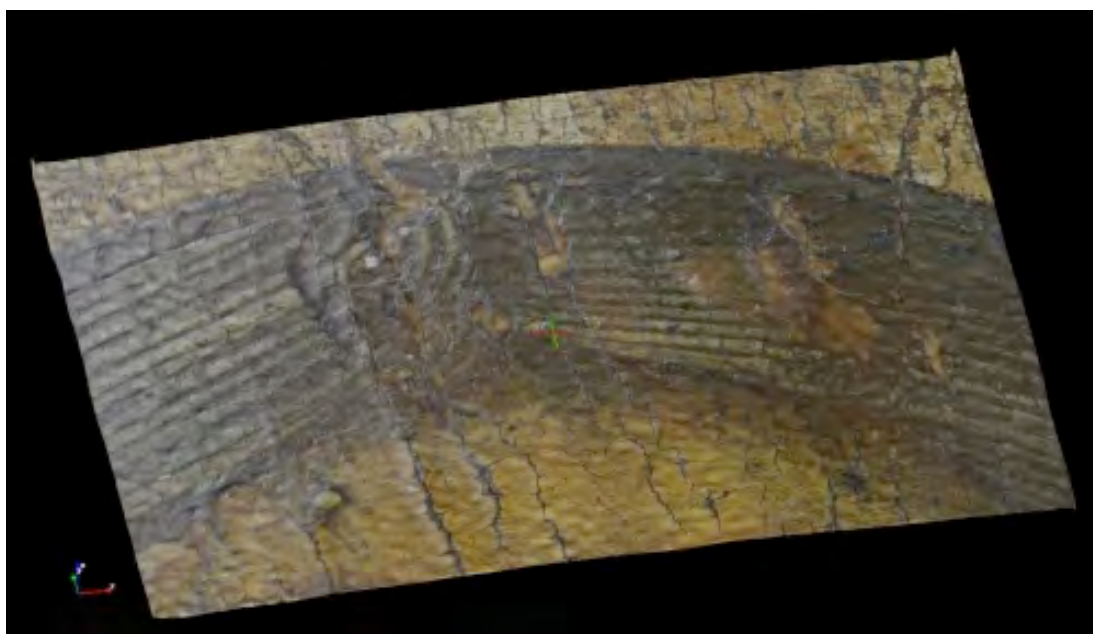
ZScan Micro e' completamente indipendente: dalle immagini alle misure tutto il lavoro e' eseguito grazie a software proprietari, progettati e sviluppati da Menci Software.

Il sistema ZScan Micro richiede una camera digitale reflex, calibrata presso i laboratori Menci Software. In funzione degli obiettivi utilizzati il campo di azione dello strumento puo' essere amplificato.

La configurazione attualmente proposta prevede una Canon EOS 400D con obiettivo 60mm macro.

Con tale configurazione e' possibile ottenere modelli 3D ad una risoluzione media di 10-20 micron.





La precisione finale del modello ricostruito dipende dalla distanza tra la camera e l'oggetto, dal tipo di lenti utilizzate e dalle condizioni generali di ripresa (illuminazione del soggetto). E' possibile calibrare piu' di un obiettivo, con differente lunghezza focale.

ZScan Micro e' progettato per misure metriche di precisione e analisi nel tempo di micro fratture o danni su beni culturali. Un altro uso, in virtu' delle informazioni cromatiche fornite dalle immagini, e' la documentazione 3D ad alta fedelta', molto importante nel campo dei beni culturali.

Il risultato finale di ZScan Micro e' una griglia 3D di punti con un'immagine texture applicata sopra: in pratica un raster 3D. Su tale modello, rigorosamente metrico, e' possibile prendere misure, importarlo e gestirlo all'interno di un ambiente CAD, generare ortofoto e ortomosaici ad alta risoluzione.

Inoltre e' possibile creare Digital Elevation Models (DEM) sulla nuvola di punti, al fine di descrivere numericamente e graficamente l'andamento della superficie, o comparare lo stato della stessa superficie acquisita in tempi diversi.



ZScan Ter





é una estensione di ZScan progettata per l'acquisizione sincronizzata di immagini sullo stesso oggetto. Lo scatto sincrono di tre camere viene gestito dall'utente tramite un telecomando.

Ogni tripletta acquisita da ZScan Ter viene trasformata in un modello 3d dal software ZScan.

ZScan Ter e' composto da:

- 1) tre camere fotografiche digitali calibrate (*)
- 2) un telecomando per lo scatto remoto sincronizzato
- 3) una barra in alluminio per l'acquisizione di triplette con base larga (1000 mm) e ridotta (500 mm)

il software ZScan

(*) le fotocamere sono calibrate presso i laboratori Menci Software

Ter e' versatile e puo' essere applicato a contesti diversi:

ZScan Ter e' una soluzione ideale quando l'acquisizione fotografica e' eseguita da posizioni instabili quali ponteggi, trabattelli e bracci meccanici, o per acquisire oggetti in movimento.

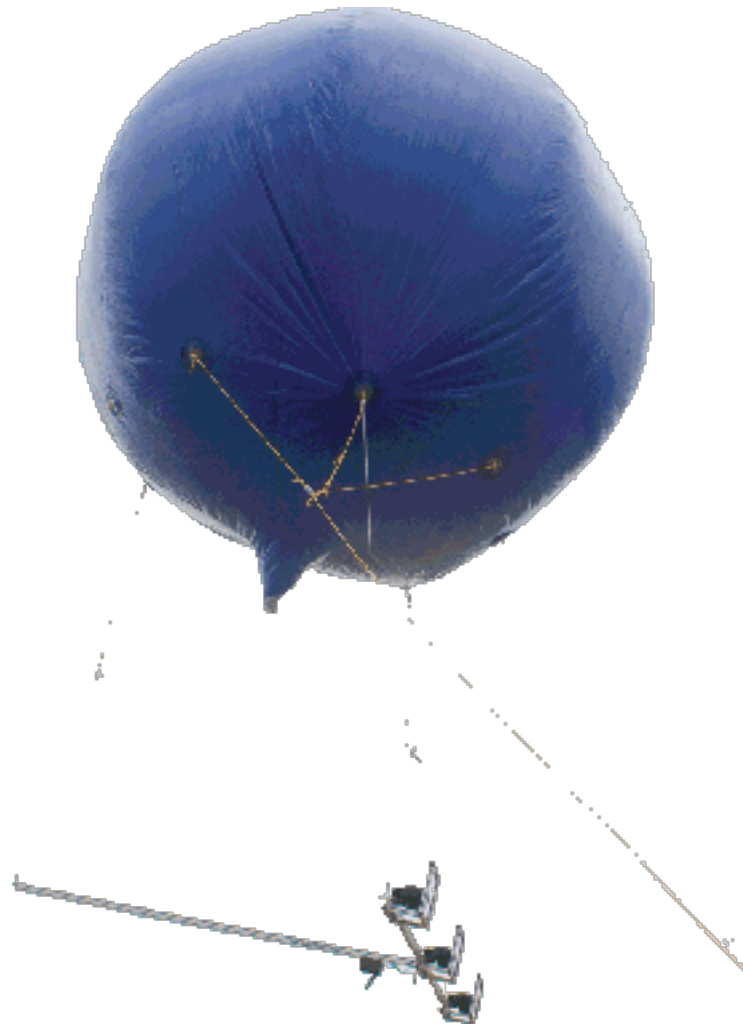


FlyScan

FlyScan e' stato creato in collaborazione con l'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali del CNR di Roma (ITABC).

Flyscan e' stato sperimentato sul sito archeologico giordano di Shawbak.

e' un sistema aereo di scansione 3d. Sospeso in aria grazie ad un pallone aerostatico

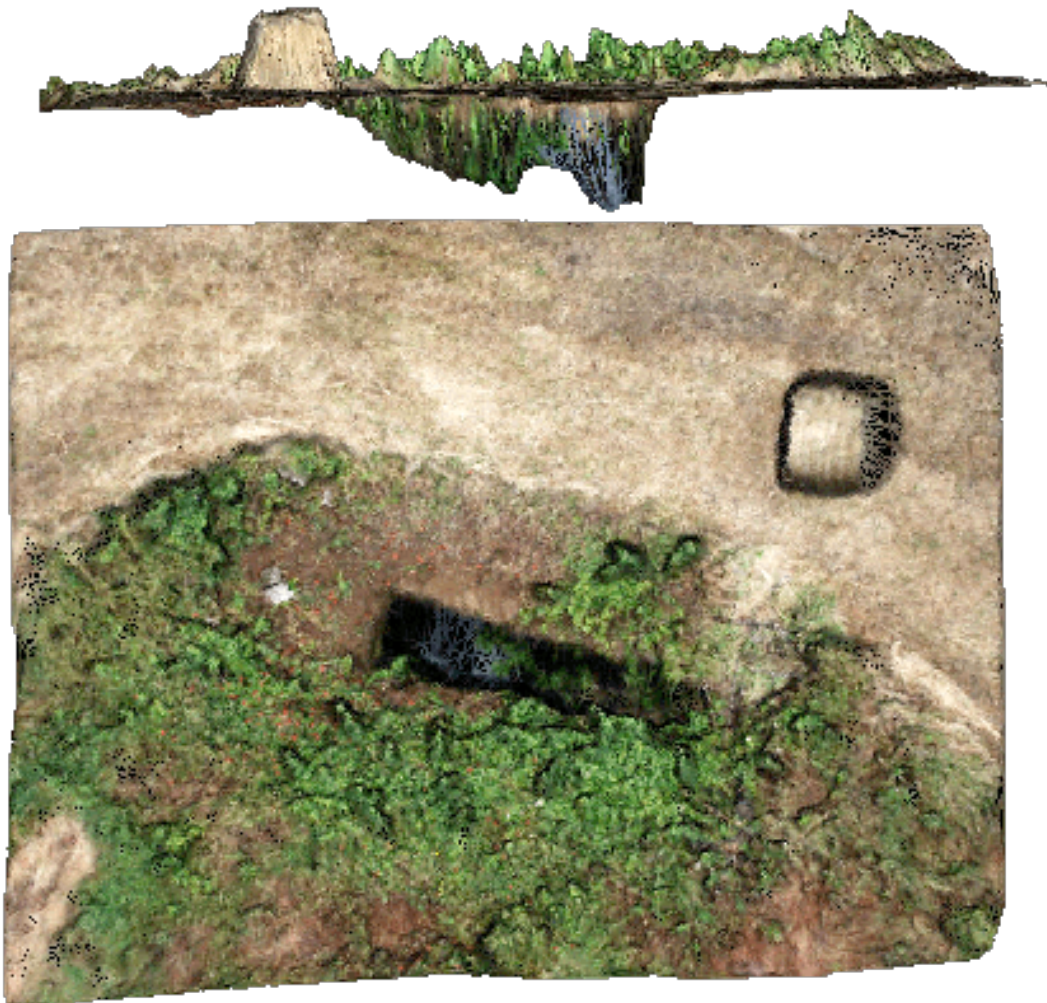


consente di generare modelli tridimensionali di aree archeologiche.

I dati raccolti sono utilizzati per studiare la distribuzione di spazi interni ed edifici, per ottenere planimetrie complete di zone di scavo, per analizzare aree di intervento e

restauro. FlyScan e' in grado di produrre DTM (Digital Terrain Model) per un'analisi dettagliata dell'area ricostruita. E' inoltre possibile navigare tridimensionalmente sui modelli acquisiti.

Una leggera struttura rigida in alluminio mantiene ogni camera vincolata nella sua posizione nota. La struttura é sollevata da terra da un pallone aerostatico, guidato sopra l'area di interesse tramite tiranti. Un telecomando radio consente all'utente di eseguire scatti tripli in remoto.

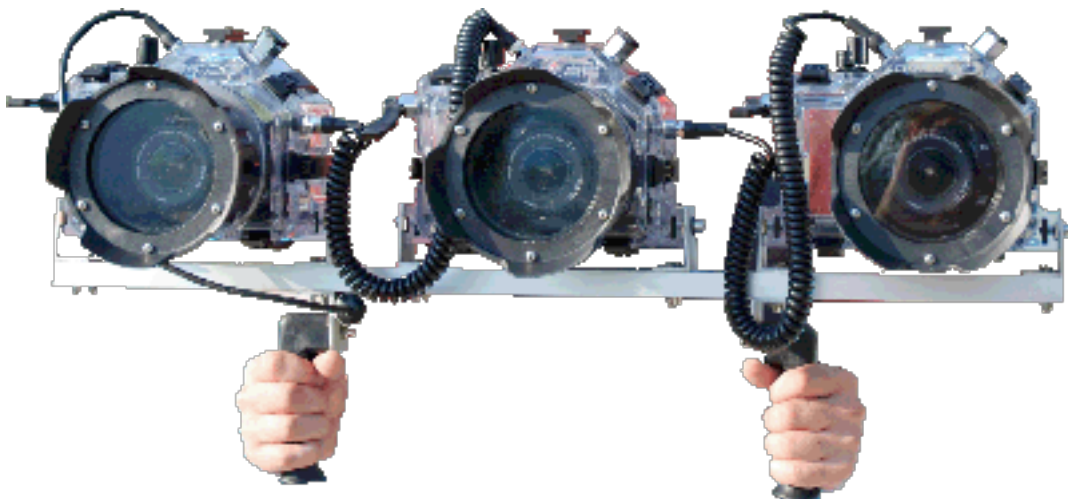


Da ogni triplo scatto il software ZScan genererà un modello 3d.

Sito archeologico etrusco



Il sistema ScubaScan per il rilievo 3D



Lo strumento

ScubaScan, basato sulla tecnologia ZScan, rappresenta la soluzione per il rilievo 3d in ambiente subacqueo.

Lo strumento misura 80x38x22.5 cm e pesa 10 Kg; esso consiste in tre fotocamere digitali calibrate, ancorate su un supporto in alluminio e disposte parallelamente. Le fotocamere sono alloggiare in scafandri impermeabili e sono mutuamente collegate in modo da permettere uno scatto sincronizzato. Lo scatto contemporaneo delle tre fotocamere consente di ottenere riprese di uno stesso ambiente, o oggetto, da tre punti coordinati, quelli nei quali sono collocate le tre fotocamere, delle quali è nota la rispettiva distanza. Questa condizione è necessaria per le successive elaborazioni software, che trasformeranno il dato raster raccolto nei relativi modelli tridimensionali.

Lo strumento viene sottoposto a due tipi di calibrazione: anzitutto si procede alla calibrazione una tantum delle fotocamere, eseguita presso i laboratori Menci, al fine di determinare le peculiarità ottiche di ciascuna fotocamera e obiettivo. Il sistema viene poi ricalibrato nel suo complesso ogni volta che lo strumento viene smontato e rimontato, così da riconsiderare l'allineamento e la posizione relativa delle camere al termine del montaggio.

Le fotocamere vengono impostate in modo da ottimizzare la qualità dell'immagine relativamente alle condizioni di luce e limpidezza dell'acqua. La distanza di lavoro tipica per l'assetto proposto è tra 1.5 e 6 metri.

Fase di acquisizione

L'acquisizione del manufatto può procedere secondo due differenti modalità:

- nel caso di soggetti di dimensioni ridotte, l'intera acquisizione può ricadere in un singolo scatto;
- nel caso in cui l'area complessiva da rilevare non possa essere coperta con un singolo scatto, situazione questa molto più comune nel caso dei rilievi di siti sommersi, l'operatore eseguirà una sequenza ordinata di scatti che siano in grado di

coprire, secondo una data logica, l'intera area di interesse. I modelli tridimensionali generati da ogni scatto potranno in seguito essere assemblati tra loro se la sovrapposizione, o area a comune tra uno scatto e l'altro, è sufficientemente ampia. Secondo la stessa logica un soggetto può essere ricostruito tridimensionalmente in ogni suo lato, acquisendo scatti a differente inclinazione.

Il software

Gli scatti fotografici acquisiti sott'acqua vengono scaricati ed elaborati all'interno di un PC. Il software consiste in una specializzazione del software ZScan, in grado di:

- ordinare le immagini sincronizzate provenienti dalle tre fotocamere;
- eseguire la calibrazione del sistema sulla base degli appositi scatti al poligono di calibrazione;
- consentire all'utente di introdurre i parametri di salinità rilevati in immersione;
- definire, per ogni tripletta di immagini costituenti uno scatto, l'area utile da ricostruire, oltre alla risoluzione finale del modello ottenuto;
- generare il modello 3D di ogni scatto;
- triangolare tali modelli, così da ottenere una mesh sulla quale è automaticamente applicabile una texture raster. La triangolazione consente la successiva generazione automatica di prodotti accessori quali ortofoto, DEM (Digital Elevation Model), prospetti, curve di livello, ecc. all'interno del software di Menci Software, Z-Map.

L'attività di assemblaggio dei modelli ottenuti, operata da moduli software integrativi sempre sviluppati da Menci Software, consente poi di ottenere un modello tridimensionale complessivo. Quest'ultima procedura, a seconda delle caratteristiche delle immagini e del soggetto, potrà essere sia automatica che manuale.

ScubaScan è basato su una barra di alluminio, dotata di due maniglie. Tre fotocamere digitali reflex, opportunamente calibrate, sono fissate sulla barra all'interno di scafandri impermeabili che consentono di raggiungere i 60 metri di profondità.

Complessivamente lo strumento misura 80x38x22.5 cm e pesa 10Kg.

Lo scatto sincrono delle fotocamere viene eseguito tramite un interruttore esterno, posizionato in prossimità delle maniglie.

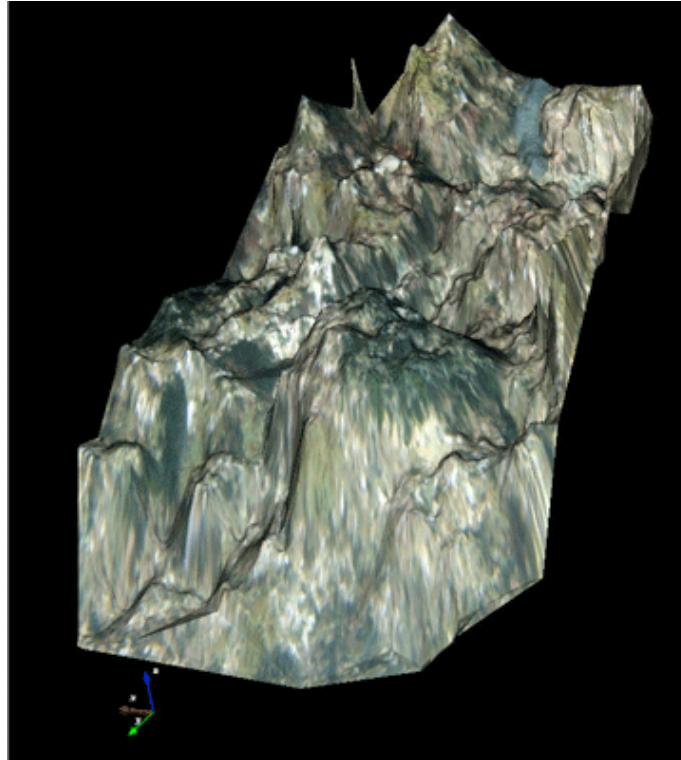
ScubaScan tiene conto anche del valore di salinità dell'acqua durante l'elaborazione delle immagini acquisite. Il valore di salinità è impostabile dall'utente.

La distanza di lavoro tipica è tra 1.5 e 6 metri, dipendente delle condizioni di luce e di limpidezza dell'acqua.

La seguente tabella esemplifica la dimensione dell'area acquisita in funzione della distanza tra le camere e la superficie:

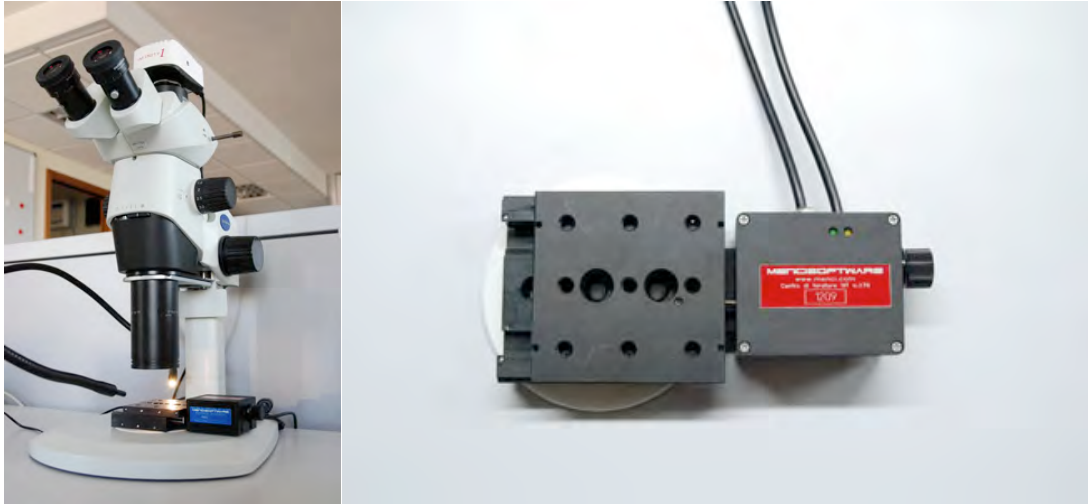
Distanza di lavoro (mm)	Larghezza x Altezza Area (mm)
1000	900 x 825
3000	2160 x 1670
5000	3840 x 2785

generazione dei modelli 3d



Data l'importanza e il numero di Beni Culturali Sommersi, il CEM (Centro Interistituzionale Euromediterraneo) avvio' un progetto il cui obiettivo era quello di sviluppare una tecnologia capace di applicare le tecniche di scansione 3d all'ambito sottomarino.

Le nuove tecnologie di scansione 3d forniscono infatti dati ad alta definizione, la cui precisione dei dettagli geometrici e cromatici li rende utilizzabili in svariati contesti. ScubaScan supera la maggior parte delle difficoltà incontrate dalle tecnologie tradizionali in ambiente sottomarino: può essere applicato in un contesto dinamico, risolve i problemi di differente illuminazione attraverso i fluidi, il movimento di particelle nell'acqua e considera le specifiche condizioni di trasparenza e illuminazione.



I software inclusi nel pacchetto sono:

SubMicro Linker, un tool che consente il controllo dell'hardware e l'acquisizione delle immagini;

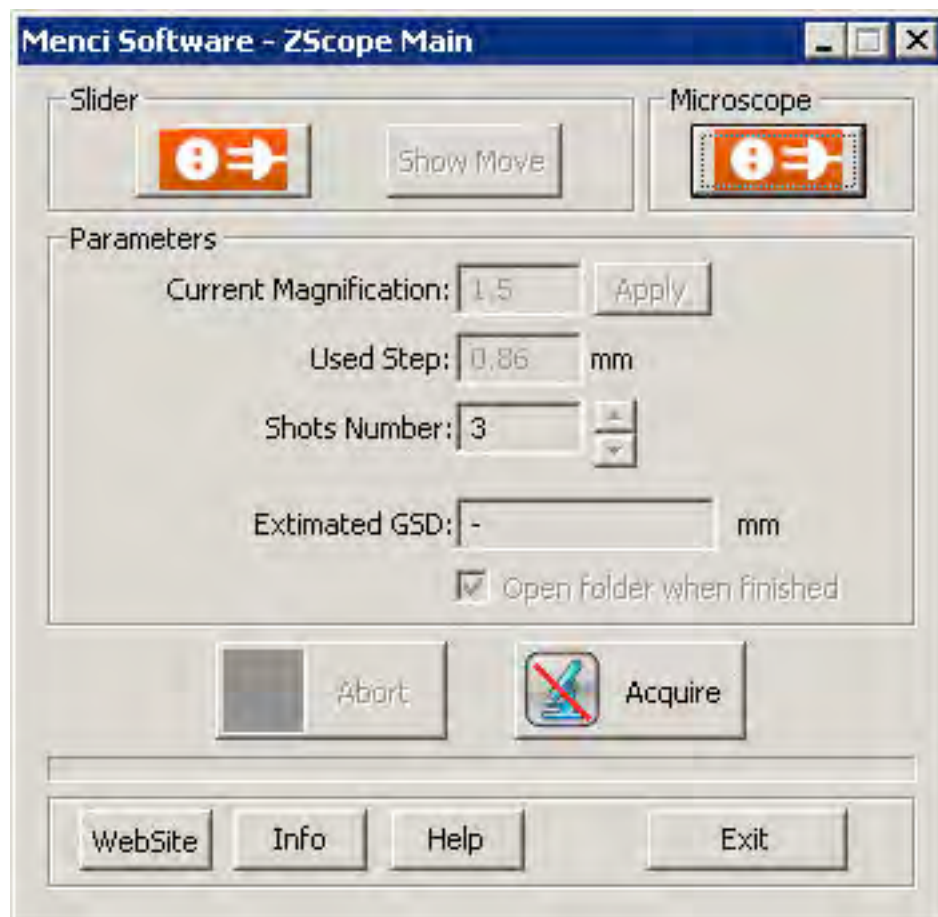
ZScan, il generatore dei modelli 3d. Zscan prende in input i dati acquisiti da SubMicro Linker;

Z-Map, ambiente CAD per modificare, pulire, registrare e analizzare i modelli 3d prodotti da ZScan;

Tutti i passaggi necessari all'acquisizione, generazione e analisi del modello 3d sono semi-automatici e user friendly.

Con SubMicro Linker la barra motorizzata montata sotto le lenti del microscopio viene mossa e l'oggetto scansionato viene acquisito dalla camera digitale.

Ciascun modello viene generato da una tripletta di immagini. SubMicro Linker



organizza i dati e li esporta verso un progetto ZScan.

ZScan gestisce i dati e produce il relativo modello 3d tramite semplici passaggi operativi.

3) All'interno del software Z-Map e' infine possibile analizzare i modelli ottenuti.

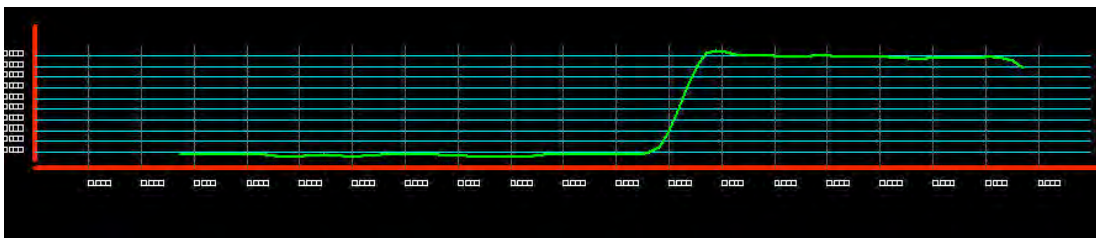
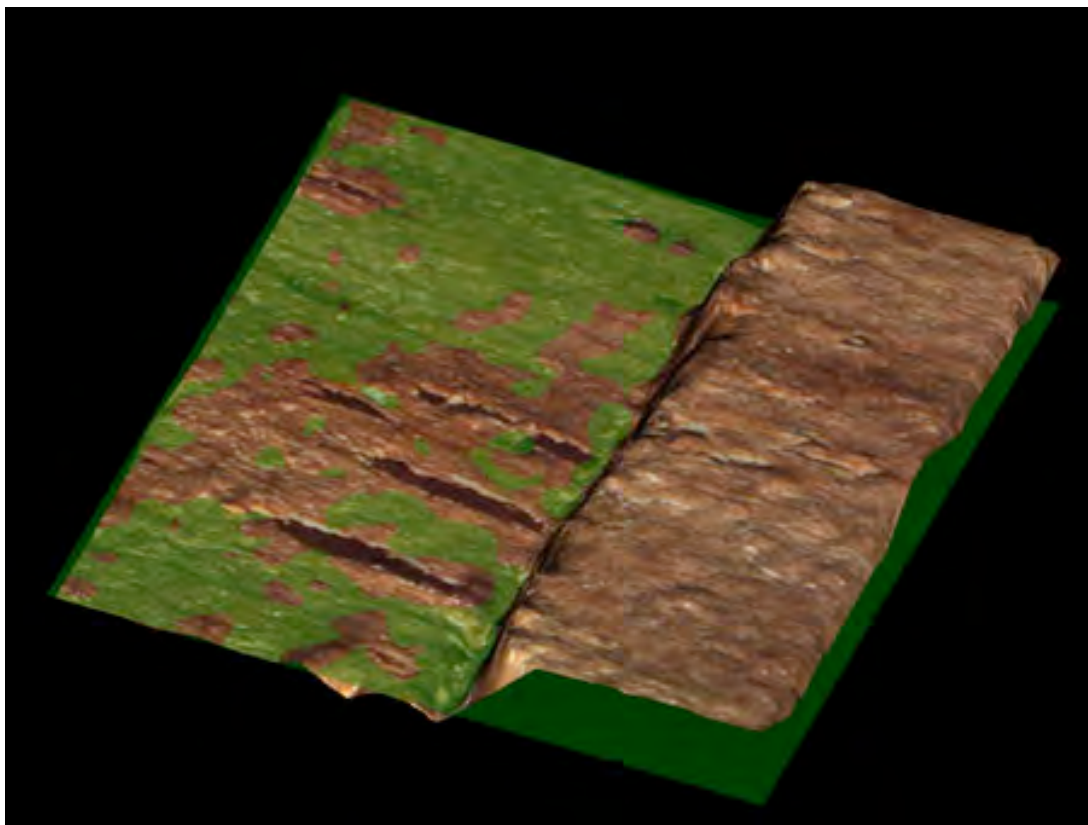
Alcuni esempi delle funzioni disponibili nell'ambiente Z-Map sono:

esportazione/importazione dei modelli 3D in formato ASCII customizzato

misure 3D

pulitura, suddivisione e georeferenziazione dei modelli 3D

registrazione e analisi comparativa dei modelli, con report dei risultati automatico
definizione di UCS e generazione di Digital Elevation Model sui modelli 3d
ortofoto



ZScan Dynamic

ZScan Dynamic e' una soluzione dedicata al Mobile Mapping. Il sistema integra:
9 camere digitali calibrate (nei laboratori Menci) e sincronizzate
un sistema Applanix (GPS, IMU, Odometro)

Tutto il sistema e' montato su una solida struttura di alluminio, fissata sopra



un'automobile.

ZScan Dynamic consente di acquisire in modo continuo triplette di immagini georiferite in tre direzioni (a sinistra, di fronte e a destra del veicolo) mentre l'automobile e' in movimento (fino a 20 Km/h).

Le triplete acquisite saranno poi combinate con dati provenienti dal sistema Applanix ed elaborate con il software ZScan Dynamic.

Grazie a ZScan Dynamic e' possibile determinare la posizione 3d di ciascun punto visibile nelle immagini, al fine di determinare una planimetria della zona rilevata.

Il sistema consente una accurata e dettagliata documentazione del contesto stradale.

Il software ZScan Dynamic gestisce le immagini acquisite, le riordina e le associa alle informazioni elaborate dal sistema Applanix.

I contesti nei quali ZScan Dynamic e' applicabile sono:

mobile mapping stradale

reperimento di informazioni GIS

1.5 La scelta delle tecnologie in funzione delle esigenze di rilevamento

Le diverse tipologie di laser scanner implicano differenze nelle accuratezze di misura, nella distanza nelle modalità di acquisizione, nella risoluzione della nuvola di punti.

Allo stato attuale non esiste alcuno strumento in grado di soddisfare contemporaneamente tutte queste esigenze.

La scelta dello strumento deve essere effettuata in base alle esigenze specifiche di utilizzo sulla base di molteplici caratteristiche:

- accuratezza
- velocità di acquisizione
- range di misura
- lunghezza d'onda del segnale in base alle possibili sorgenti di rumore esterno (luce solare, umidità) e delle caratteristiche di riflettività delle superfici esterne
- campo visivo dello strumento
- dotazione di camere digitali interne od esterne
- facilità di trasporto
- tipo di alimentazione
- qualità del software d'acquisizione

Accuratezza

Aspetto fondamentale di cui tener conto nell'utilizzo di uno scanner laser è la sua accuratezza.

Essa si presenta come fattore determinante nel caso ad esempio del rilievo architettonico o industriale, ove è necessario visualizzare anche piccoli dettagli.

La qualità globale nell'acquisizione della nuvola di punti deriva dalla combinazione delle accuratezze ottenute nella misura delle singole caratteristiche fisico-geometriche, ed è influenzata inoltre da caratteristiche intrinseche all'oggetto rilevato e dalle condizioni ambientali.

I dati tecnici forniti dai diversi costruttori di laser scanner non sono sempre facilmente comparabili tra loro poiché basati su criteri differenti.

Inoltre, essendo prodotti in serie piuttosto limitate, la stessa accuratezza può variare da strumento a strumento, a causa di differenze nell'eseguire la calibrazione iniziale in fase di produzione.

Le caratteristiche fisico-meccaniche che concorrono al raggiungimento delle accuratezze finali possono essere riassunte nelle seguenti:

Accuratezza angolare

L'impulso laser viene direzionato sull'oggetto mediante la rotazione di specchi deflettori o di prismi, la conoscenza degli angoli di rotazione nelle due direzioni, orizzontale e verticale, associata alla misura di range, permette di risalire alla posizione del punto nello spazio.

Ogni deviazione angolare corrisponderà ad un errore di posizionamento: il punto, nel caso dei ranging scanner, risulterà essere appartenente alla sfera di raggio pari alla distanza oggetto-ricevitore, ma si troverà in un punto della superficie non corrispondente a quello reale

Accuratezza nella misura delle distanze

Per i ranging scanner l'accuratezza varia in modo lineare rispetto alla distanza e con valori che dipendono dalla tipologia di laser e si rimanda per queste alle accuratezze fornite dai costruttori in base al range di acquisizione di ciascun laser scanner.

Per i triangulation scanner l'accuratezza diminuisce, invece, con il quadrato della distanza scanner-oggetto. Si ha quindi un andamento di tipo parabolico, con il quale è possibile esprimere l'andamento accuratezza – distanza. E' utile osservare inoltre che la curvatura della parabola risulta crescere al diminuire della base di triangolazione. Base che, per ragioni pratico-costruttive deve comunque restare contenuta in poche decine di centimetri.

Risoluzione

La risoluzione di uno scanner può essere definita come la sua capacità di rilevare e rappresentare oggetti di dimensioni minime, ovvero la densità massima della nuvola di punti.

Tecnicamente sono due le caratteristiche che concorrono alla determinazione della risoluzione:

- il minimo incremento angolare possibile degli organi di direzionamento (specchi, prismi, parti meccaniche);
- le dimensioni dello spot laser.

Un ridotto passo angolare permette di contenere le distanze tra i punti della nuvola e le dimensioni contenute dello spot permettono di determinarne con minore ambiguità il suo centro.

La risoluzione ottenibile è uno dei fattori principali che determinano la scelta di utilizzo di uno strumento piuttosto di un altro. In funzione della finalità del rilevamento potremo avere la necessità di raggiungere elevate risoluzioni da brevi distanze, come nel caso di particolari architettonici, o meglio ancora opere d'arte come statue, in altri casi, come nel rilevamento di cave la risoluzione non è il fattore predominante, ma va cercato il giusto compromesso con la portata.

Influenza della riflettività della superficie

Il segnale laser di ritorno dalla superficie deve essere rilevato dal sensore dello strumento, nel caso dei ranging scanner da una unità di ricezione per determinare la distanza, mentre nel caso dei triangulation scanner da un sensore CCD che rileva l'angolo di incidenza.

In entrambe i casi, oltre che da fattori esterni, l'intensità del segnale di ritorno dipende dalle caratteristiche fisiche dell'oggetto colpito, in particolare dalla riflettività della sua superficie.

Si è osservato che alcuni valori di riflettività inducono ad errori sistematici nelle misure di range, inoltre variazioni considerevoli di riflettività durante la singola scansione portano ad errori nell'intorno delle zone di transizione.

Condizioni ambientali

Temperatura, condizioni atmosferiche ed interferenze di radiazioni luminose o altri campi elettromagnetici, possono in differenti quantità, influenzare l'accuratezza delle misure.

In fase di acquisizione e per la successiva interpretazione dei dati sarà utile raccogliere queste informazioni al momento dell'acquisizione.

Velocità di acquisizione

Fattore decisamente rilevante per quanto riguarda la produttività del rilevamento è la velocità di acquisizione.

La durata di ogni singola scansione infatti può durare da alcuni secondi ad alcune decine di minuti. Ciò dipende dal campo visivo di acquisizione, dal passo angolare, dal principio di misura del range (tempo di volo, differenza di fase, triangolazione), dalla distanza dell'oggetto, dalla velocità dei sistemi meccanico-ottici di puntamento e deflessione. Supponendo di operare la scansione dello stesso oggetto con diversi strumenti, noteremmo comunque che, a parità di campo di acquisizione e di passo

angolare, il sistema di misurazione del range incide moltissimo sulla velocità di acquisizione del singolo punto

Produttore	Modello	Tipo	Range	Velocità max	Campo visivo
			[m]	[punti/sec]	[gradi]
Zoller+Fröhlich GmbH	3D IMAGER 5006	Diff. fase	79	500000	360° x 310°
	3D IMAGER 5003	Diff. fase	25.2/53.5	625000/500000	360° x 310°
Leica Geosystems	HDS 6000	Diff. fase	79	500000	360° x 310°
	HDS 4500	Diff. fase	25	500000	360° x 310°
	Scan Station	Impulsi	134/300	50000	360° x 270°
	HDS 3000	Impulsi	100	1800	360° x 270°
	HDS 2500 (Cyrax)	Impulsi	100	1000	40° x 40°
Rieg LMS	LPM-321	Impulsi	500/6000	10/1000	150° x 360°
	LMS-Z210ii	Impulsi	200/650	8000/10000	360° x 80°
	LMS-Z390i	Impulsi	140/400	8000/11000	360° x 80°
	LMS-Z420i	Impulsi	350/1000	8000/11000	360° x 80°
Mensi (Trimble)	S25	Triangolazione	25	100	320° x 46°
	S10	Triangolazione	10	100	320° x 46°
	GS 200	Impulsi	350	5000	360° x 60°
	GS 100	Impulsi	150	3000	360° x 60°
Trimble	GX-3D	Impulsi	350	5000	360° x 60°
	GS 200 3D	Impulsi	350	5000	360° x 60°
Optech	ILRIS-3D	Impulsi	350/1500	2500	40° x 40°
Faro	LS 420	Diff. fase	20	120000	360° x 320°
	LS 840	Diff. fase	40	120000	360° x 320°
	LS 880	Diff. fase	80	120000	360° x 320°

Range di misura

La distanza massima a cui il sensore può effettuare la misura di distanza gioca un ruolo fondamentale nella scelta del tipo di strumento da utilizzare. Le portate dei laser scanner in commercio vanno attualmente da alcune decine di centimetri ad alcune centinaia di metri. In tutti i casi, all'aumentare della portata corrisponde una diminuzione della risoluzione d'acquisizione, quindi per scansioni a lunga distanza (oltre il centinaio di metri), potremo avere in generale, risoluzioni centimetriche o decimetriche. Il valore massimo di portata raggiungibile dipende dalle caratteristiche del segnale emesso, dalla direzione con cui il raggio laser colpisce la superficie dell'oggetto, ma soprattutto dalle caratteristiche di riflettività della superficie. Materiali con elevato potere radio-assorbente e superfici molto inclinate, riducono l'intensità del segnale di ritorno allo strumento, limitandone la portata.

Caratteristiche del segnale laser

Le caratteristiche del segnale emesso dallo strumento (generalmente laser nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso vicino, o del colore verde) possono subire disturbi ed interferenza in presenza di sorgenti luminose artificiali, la luce solare ed altre radiazioni luminose prodotte dal riflesso di oggetti vicini, condizioni particolari della superficie colpita.

Generalmente i laser utilizzati fanno sì che la misura del range non sia invece influenzata da sorgenti radio di alcuna frequenza.

Le principali condizioni che possono influire possono essere così riassunte:

Caratteristiche di riflettività del materiale:

materiali con elevate capacità radio-assorbenti, o materiali che vengono attraversati dal segnale luminoso (si vedano ad esempio le superfici vetrate nella scansioni sottostanti) limitano le misure di range.

Condizioni d'umidità della superficie, condizioni ambientali:

un elevato grado d'umidità nell'atmosfera causa una forte dispersione del segnale ed la sua conseguente riduzione d'intensità.

Costante dielettrica del materiale:

Materiali con caratteristiche di assorbimento in alcune lunghezze d'onda possono risultare di difficile misurabilità con strumenti laser che lavorino in tali lunghezze d'onda.

Campo visivo

In commercio esistono tipologie di scanner, che dal punto di vista del campo visivo di acquisizione, possono essere raggruppati in tre categorie principali: i Camera Scanner, i Panorama Scanner e gli scanner che adottano una soluzione intermedia.

I Camera Scanner hanno un limitato campo visivo, paragonabile a quanto accade in una foto camera, l'intervallo angolare di scansione è limitato, sia sul piano orizzontale che verticale. Questo tipo di scanner è pratico per utilizzi legati al rilevamento ambientale, e quindi per scansioni di superfici situate a lunga distanza.

I Panorama Scanner hanno invece un campo visivo quasi sferico, limitato unicamente dalla base dello strumento. La quasi totale copertura del campo visivo fa sì che questo tipo di strumento si presti molto bene alla scansioni di interni di edifici, di gallerie.

Un terzo tipo di scanner ibrido è rappresentato da sistemi che possono compiere rotazioni complete solamente attorno ad uno degli assi. La rotazione attorno al secondo asse è invece limitata entro i $60^{\circ}\div 100^{\circ}$.



Figura 1.5: Camera Scanner



Figura1.6: Panorama Scanner



Figura1.7: Scanner di tipo ibrido

Integrazione con fotocamere digitali

L'acquisizione delle prese fotografiche, necessarie per la realizzazione del modello triangolato mappato con la texture, può avvenire in tre modi differenti.

La fotocamera infatti può essere interna allo scanner, esterna ma integrata al sistema laser scanner, oppure può essere una fotocamera esterna utilizzata direttamente dall'operatore.

Nel caso l'apparecchiatura possieda una fotocamera interna l'immagine digitale viene acquisita dal CCD interno allo strumento, contemporaneamente alla scansione. Generalmente, in questi casi, l'immagine acquisita presenta una qualità piuttosto bassa, a causa della limitatezza dell'apparecchiatura fotografica.

Un'ottima soluzione adottata da alcuni produttori è invece quella di montare solidalmente una fotocamera alla testa dello scanner. Di questa fotocamera sono noti i parametri interni, la posizione, e distanza focale e puntamento vengono controllati dallo stesso software di interfaccia dello strumento. L'utilizzo di camere esterne necessita di software adatti alla riproiezione delle foto, ma permette di effettuare acquisizioni laser e fotografiche indigenti.

Facilità di trasporto

La praticità e la semplicità di trasporto dello strumento risultano essere fattori determinanti nel caso si debbano realizzare scansioni di zone difficilmente raggiungibili con adeguati mezzi di trasporto.

Le principali caratteristiche di cui tener conto sono:

- peso e dimensioni dello strumento,
- resistenza ad urti e vibrazioni che possono verificarsi durante il trasporto
- qualità della custodia fornita a corredo dell'apparecchiatura. possibilità di utilizzare dispositivi di protezione dello strumento quando posto in stazione nella posizione di presa.



Gli strumenti di misura sono dei dispositivi che consentono di confrontare un fenomeno con le unità di misura che lo caratterizzano.

Tale confronto che prende il nome di misurazione ha come risultato un numero che esprime il rapporto tra la grandezza che si è misurata e l'unità di misura campione. Esistono diversi tipi di strumenti di misura ed una stessa grandezza fisica può spesso essere misurata mediante tipi diversi di strumenti, caratteristiche comuni di tutti gli strumenti di misura sono:

Portata, Sensibilità, Risoluzione, Ripetibilità, Rapidità, Precisione.

La portata

o fondoscala dello strumento è il massimo valore della grandezza che lo strumento è in grado di misurare.

Alcuni strumenti hanno diverse portate che possono essere selezionate dall'utilizzatore in modo da raggiungere la più grande risoluzione in relazione al valore della grandezza che dobbiamo misurare.

La sensibilità

è espressa dalla più piccola grandezza necessaria a causare uno spostamento apprezzabile della scala dello strumento.

Perciò la sensibilità esprime il limite inferiore del campo di misurazione dello strumento, mentre la portata ne è il limite superiore.

La risoluzione

è la più piccola variazione della grandezza che lo strumento è in grado di apprezzare. Per gli strumenti a scala la risoluzione coincide con la suddivisione della stessa, in alcuni casi la scala può essere suddivisa in maniera non lineare allora la risoluzione varia nel campo di misura. Per gli strumenti digitali la risoluzione è data dall'ultima cifra visualizzata.

Sensibilità e risoluzione coincidono numericamente negli strumenti che presentano un'unica portata ed hanno una scala che partendo da zero è suddivisa in intervalli regolari.

La ripetibilità

indica la capacità dello strumento di restituire una stessa misura di una grandezza nelle condizioni sperimentali indicate dal suo costruttore. La rapidità è data dal tempo necessario allo strumento per fornire il risultato di una misura. Quando la misurazione richiede il raggiungimento dell'equilibrio meccanico o termodinamico dello strumento con il sistema soggetto a misurazione, è il caso ad esempio di un dinamometro a molla o di un termometro a colonnina di Hg, il risultato della misura è asintoticamente approssimato nel tempo, allora la rapidità dello strumento è definita come il tempo necessario allo strumento per restituire un valore pari al 63.2% di quello infine misurato.

La precisione

è data dall'errore relativo con il quale si è ottenuta la misura.

La precisione è quindi data dal rapporto tra la risoluzione e la grandezza misurata, spesso essa è indicata in termini percentuali.

La tecnologia laser scanning consente di acquisire oggetti tridimensionali descrivendone la geometria sotto forma di nuvole di punti. Ciascun punto rilevato è determinato dalle coordinate spaziali, con tolleranza millimetrica, e dal valore cromatico RGB. Grazie al laser scanner è possibile spingere la conoscenza del rilevato ai particolari millimetrici con il vantaggio di evitare contatti diretti che potrebbero comprometterne l'integrità dell'oggetto.

Generalmente un rilievo architettonico con scanner laser 3D si svolge in tre fasi distinte:

Pianificazione della campagna di rilievo

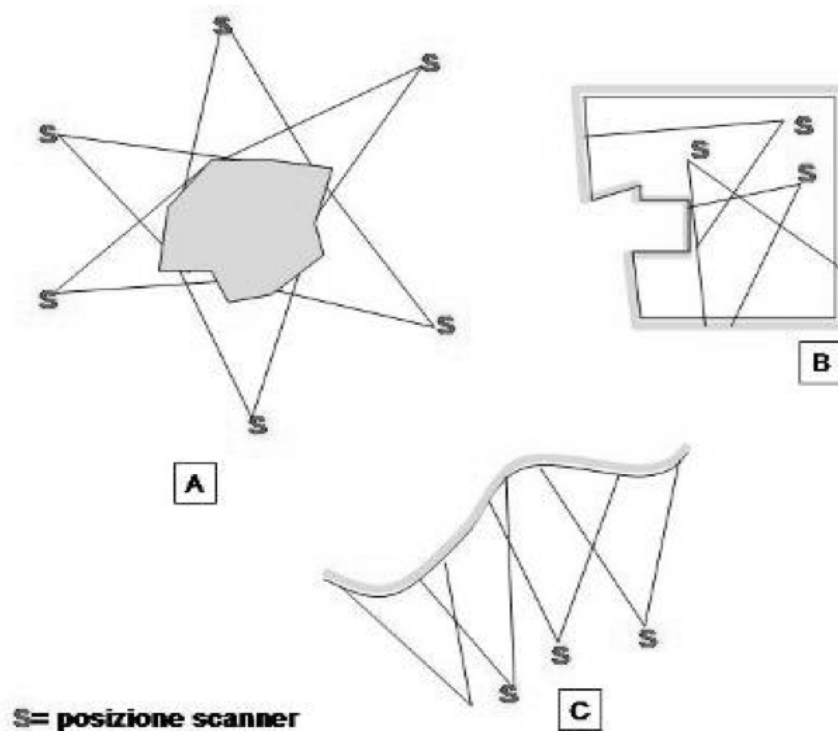
Rilievo in situ

Post-produzione (Elaborazione al computer dei dati acquisiti in situ)

Pianificazione della campagna di rilievo:

Tale fase è fondamentale in quanto è necessario eseguire un certo numero di scansioni, dislocate in parti diverse dell'oggetto del rilievo, per descriverne in modo completo la geometria.

Ognuna delle singole scansioni eseguite deve essere messa in relazione con le altre collocando tutte le nuvole di punti all'interno di un unico sistema globale di coordinate cartesiane spaziali.



Questa operazione si attua mediante il posizionamento, all'interno del campo di ripresa dello scanner, di oggetti dotati di elevata capacità di riflessione e particolare geometria detti "targets" la cui posizione spaziale deve essere nota e comune al maggior numero di scansioni possibile. Note, infatti, le coordinate dei targets nel sistema di riferimento relativo di ogni singola scansione è possibile, attraverso delle

matrici di trasformazione, riportare le coordinate di tutti i punti acquisiti in un unico sistema globale di riferimento.

Le posizioni delle varie stazioni devono essere individuate anche in relazione al rilievo topografico (eseguito preventivamente) posizionando i targets principali nei punti già rilevati con la stazione totale.

E', quindi, indispensabile una minuziosa pianificazione del posizionamento dei targets e delle stazioni di ripresa per poter ottenere una precisione sufficiente a riunire correttamente (con un basso margine di errore) tutte le nuvole di punti generate durante il rilievo in situ.

Rilievo in situ:

Si svolge eseguendo innanzitutto un accurato rilievo topografico, indispensabile al corretto posizionamento dell'area di rilievo (di cui si delineano preventivamente i margini in fase di pianificazione) rispetto al contesto naturale o urbanistico.

Si posizionano tutti i targets all'interno dell'area di rilievo in modo tale da farli rientrare nel campo di ripresa del maggior numero di scansioni possibile e far coincidere alcuni di essi coi punti principali rilevati dalla stazione totale.

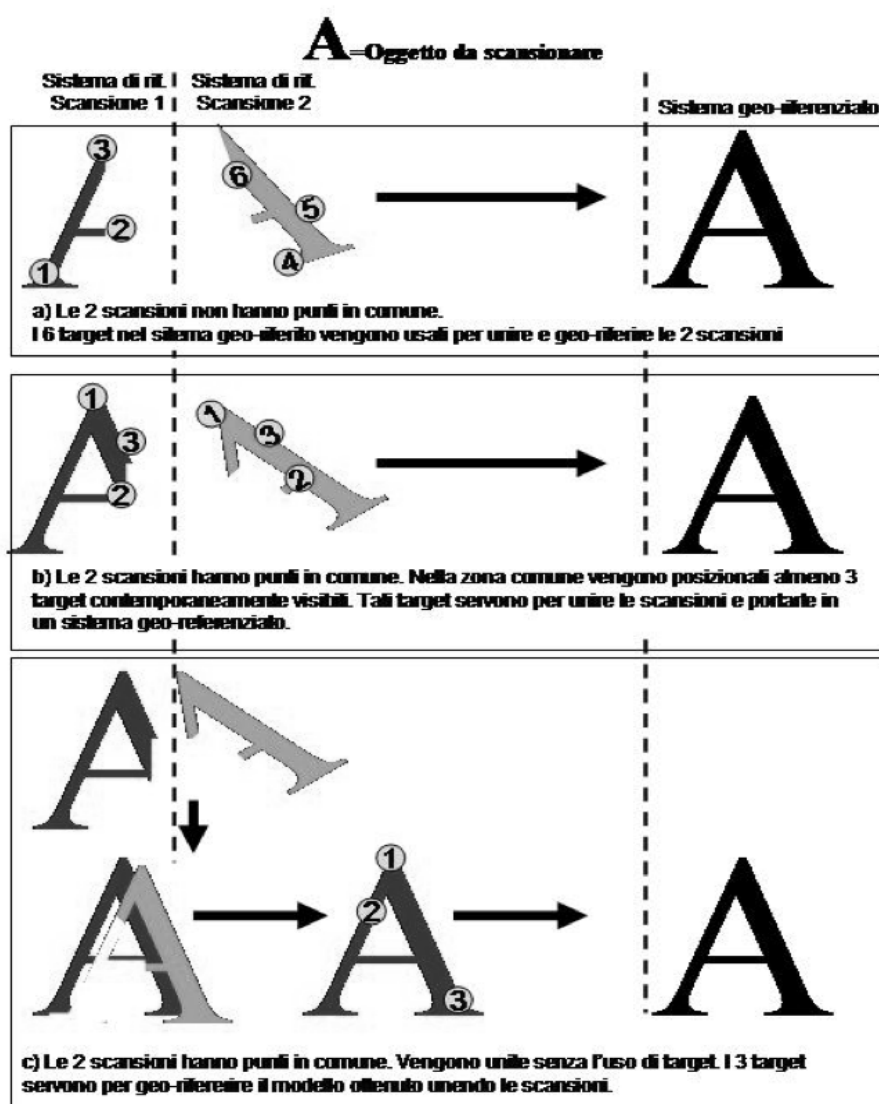
Si eseguono un certo numero di scansioni dislocate in punti diversi preventivamente determinati in fase di pianificazione al fine di generare un numero di nuvole di punti sufficienti a descrivere tutta la geometria dell'oggetto da rilevare.

Ad alcuni scanner laser è asservita una macchina fotografica digitale ad alta risoluzione, ad esso calibrata, che provvede in automatico a scattare una serie di immagini perfettamente referenziate ad ogni singola nuvola di punti. Tali immagini verranno utilizzate per colorare con dati RGB le nuvole acquisite e per costruire, in una fase successiva, delle "textures" fotografiche da applicare al modello 3D.

Post-produzione

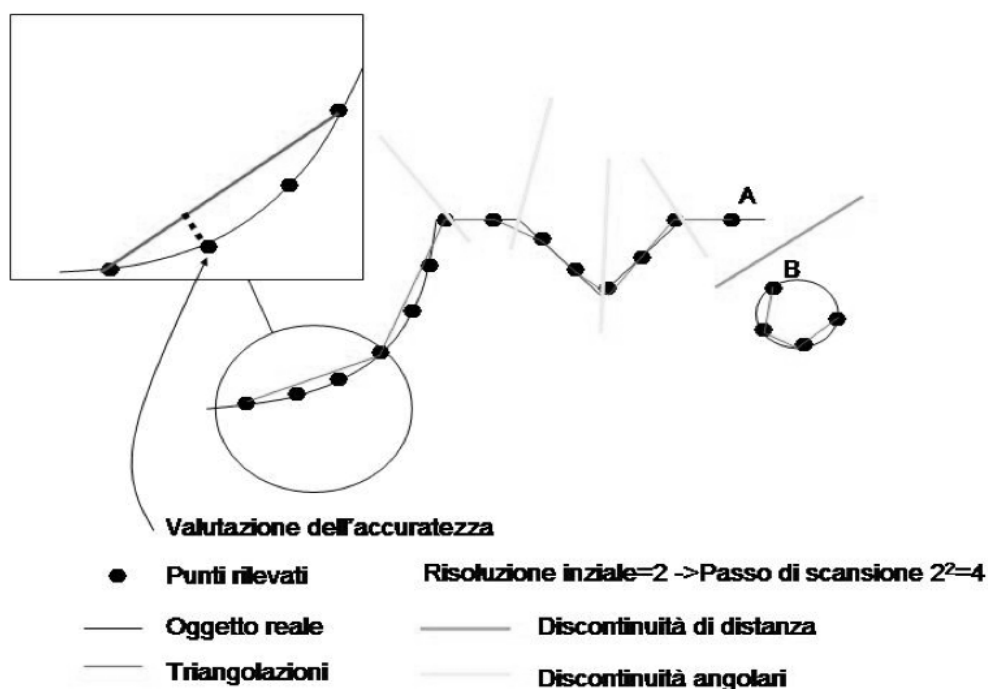
Effettuata la campagna di rilievo in situ si procede all'elaborazione al computer dei dati acquisiti. Tale fase è in genere molto lunga e complessa in quanto i dati si presentano, in prima istanza, come una serie di dati discreti difficilmente interpretabili ed utilizzabili direttamente senza alcuna elaborazione.

Si procede innanzitutto alla trasformazione delle coordinate delle varie nuvole di punti acquisite per collocarle tutte in un unico sistema di coordinate.



Si esegue quindi la ripulitura dei dati eliminando le informazioni sovrabbondanti, gli effetti di disturbo e il cosiddetto “rumore”. Si cancellano, cioè, manualmente o attraverso filtri informatici, i dati relativi a soggetti che passano incidentalmente nel campo di ripresa o oggetti come recinzioni, ponteggi, cavi, alberi ecc. non costituenti oggetto del rilievo.

Successivamente si incrociano i dati di tutte le nuvole di punti ripulite per la costruzione di un modello tridimensionale virtuale completo dell'oggetto del rilievo. Tale modello viene ottenuto attraverso un processo di “meshing”, ovvero di ricostruzione delle superfici rilevate attraverso la scomposizione di esse in milioni di superfici poligonali elementari (in genere triangoli) i cui vertici vengono costruiti direttamente sui punti delle nuvole acquisite.



Laddove, a causa della ripulitura, le nuvole di punti presentano lacune, le superfici mancanti vengono ricostruite virtualmente con programmi di modellazione, interpolando i dati dove possibile.

Ultimata tale fase si passa all’ editing finale comprendente una revisione ed una riduzione del numero di poligoni del modello in modo da renderlo facilmente gestibile attraverso i più diffusi programmi CAD e alla produzione di elaborati 2D tradizionali.

CAP II

Nuove tecnologie e conoscenza dell'architettura storica, problemi e aspetti teorici.

2.1 - L'architettura come oggetto di conoscenza

Per analizzare nel dettaglio le ricadute che le nuove tecniche e tecnologie di rilevamento, che si basano sulla produzione “automatica” di nuvole di punti, comportano nel percorso di conoscenza dell'architettura ai fini del progetto di conservazione, un primo passaggio obbligato è quello di definire i termini del discorso, a cominciare dall'oggetto del nostro fare e del nostro conoscere, cioè l'architettura, più precisamente l'architettura storica.

Il chiarimento dei termini aiuta, infatti, a comprendere i confini entro i quali si sviluppa la nostra riflessione.

Com'è noto, il conoscere per conservare, è un conoscere finalizzato alla formulazione di un giudizio critico sul quale devono fondarsi le scelte d'intervento più appropriate ad assicurare la trasmissione al futuro dei valori del manufatto architettonico oggetto del nostro interesse conservativo. I valori, storici, estetici, psicologici, da preservare, sono individuati nel manufatto proprio attraverso l'attività conoscitiva e l'attività critico/interpretativa ad esso collegata. Tale questione primaria per la conservazione, dunque, non può che inquadrarsi in un problema speculativo più generale che tocca inevitabilmente i nodi critici del rapporto tra la “realtà” (con la sua complessità, materiale e immateriale, del manufatto) e la sua “immagine/rappresentazione” intesa come ermeneusi della realtà stessa. Realtà e rappresentazione, informazione e

interpretazione sono, dunque, i termini critici e duali attorno cui ruota tutta la questione.

Si vedrà diffusamente, più avanti, in che modo il problema tecnologico si inserisce in tale discorso, e che ruolo esso ha all'interno di tale rapporto.

Prima di affrontare tale aspetto, tuttavia, è indispensabile interrogarsi innanzitutto sulla natura dell'oggetto del nostro conoscere, in altre parole sull'architettura storica, e sulle questioni che sorgono nel considerare il rapporto tra la sua realtà specifica e la sua rappresentazione, domandandosi, ad esempio, in che misura l'immagine che si è in grado di restituire attraverso l'attività conoscitiva/interpretativa, può essere considerata aderente alla realtà stessa che si vuole rappresentare, questione di primaria importanza per il restauro se si tiene conto del fatto che mentre le scelte d'intervento derivano direttamente dalla costruzione di tale immagine, frutto di un processo interpretativo, l'intervento agirà, invece, direttamente sulla realtà autentica del manufatto/documento modificandola.

Occorre allora domandarsi quali siano i parametri in grado di rappresentare nel migliore dei modi, ai fini delle scelte d'intervento, la realtà complessa di un'architettura storica, può, ad esempio, la connotazione delle caratteristiche metrico-dimensionali, materiali, geometriche, fisico-chimiche del manufatto esaurire il campo della sua conoscenza? registrarne i dati e le trasformazioni storiche riesce a esaurire il quadro della sua identità?

Appare evidente che in funzione di come si percepisca la realtà complessa che si ha di fronte, di come la si definisca e come si provi a scomporla in modo strumentale in componenti elementari, ai fini della sua conoscenza, così si formerà un'interpretazione critica e una rappresentazione diversa di tale realtà a cui corrispondono necessariamente scelte diverse per l'intervento di conservazione.

La tematica del rapporto tra realtà e rappresentazione non può prescindere dal problema del rapporto tra soggetto ed oggetto della conoscenza che, com'è noto, ha accomunato la riflessione teoretica sulla

conservazione con la riflessione estetica del novecento¹, basti ricordare la definizione di restauro a cui giunse Cesare Brandi, come “... *il momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte nella consistenza fisica e nella sua duplice polarità estetico-storica, in vista della sua trasmissione al futuro*”

L'opera d'arte, dunque, è oggetto di conservazione e, di conseguenza, oggetto di conoscenza o, in termini Brandiani, di “riconoscimento”, in vista della sua trasmissione al futuro. Cosa si intenda per “opera d'arte” è il vero nodo della questione, soprattutto in relazione all'architettura storica. Due sono, infatti, i nodi critici della riflessione estetica del novecento che ci interessa qui di seguito richiamare, senza alcuna pretesa di organicità e in modo estremamente funzionale allo sviluppo della nostra riflessione: il primo riguarda il problema del “riconoscimento” dell'architettura come “opera d'arte speciale”, problema estetico specifico; il secondo, più generale, riguarda il rapporto tra l'aspetto soggettivo e oggettivo nella spiegazione dell'opera d'arte, che implica anche una riflessione sul fare interpretativo della conoscenza attraverso cui ritorneremo al problema della rappresentazione della realtà architettonica che qui ci interessa sviluppare.

L'architettura, come oggetto di riflessione estetica, si presenta fin dal principio problematica, in quanto essa rappresenta, tra le arti, quella che si colloca nel mezzo di una inconciliabile dualità: l'opposizione bellezza/utilità, piacere/bisogno.

Questa posizione intermedia tra arti meccaniche e belle arti implica una posizione secondaria rispetto alle altre arti che non siano puramente

¹ E' Baumgarten il primo autore che parla di estetica quale articolazione della gnoseologia e disciplina filosofica specifica che ha per oggetto la conoscenza sensibile e che mira a guidarla al raggiungimento della sua perfezione che è la bellezza, il cui raggiungimento si consegue mediante le arti liberali, sempre che l'esercizio di queste si attenga alle regole operative indicate dall'estetica stessa.

L'estetica quindi ha un campo di applicazione composito, caratterizzato da 3 diverse componenti reciprocamente connesse: 1) La conoscenza sensibile, che raggiunge la sua perfezione, la bellezza, mediante le arti liberali; 2) La bellezza, è la perfezione della conoscenza sensibile che si raggiunge nelle arti liberali; 3) Le arti liberali, attività dell'uomo che attinge dalla conoscenza sensibile.

La grande novità di Baumgarten sta proprio nella capacità di tenere uniti e reciprocamente collegati i tre ambiti.

meccaniche, in particolare, per Batteux², l'architettura non fa neppure parte delle belle arti in senso stretto. Quando, più in avanti, ne farà parte, essa rimarrà comunque l'ultima delle arti, in quanto gravata del suo dover soddisfare un bisogno e non potendosi, così, votare alla pura bellezza. Ne consegue che l'estetica, intesa come filosofia del bello (ma come sappiamo sarà ben altro) non potrà guardare l'architettura come un suo referente privilegiato.³

In sostanza si presentano tre atteggiamenti nei confronti dell'architettura: un primo è quello per il quale nell'architettura non può esserci bellezza in senso stretto a causa dei bisogni da soddisfare (ad es. per Batteux o Kant letto in modo sbrigativo), il secondo è quello per il quale l'architettura può essere considerata arte se mette tra parentesi il bisogno (Schelling, Schopenhauer), la terza è quello secondo il quale, se si instaura una gerarchia tra le arti, l'architettura occupa il posto più basso, o quasi, poiché condizionata dal bisogno (Hegel, in parte Schelling, , Schopenhauer), in ogni caso l'architettura non è mai il referente privilegiato per la riflessione estetica.

Lo spartiacque è rappresentato da Nietzsche che, se da un lato prosegue la tradizione ottocentesca di emarginazione filosofica dell'architettura, dall'altro, nella produzione ultima della sua attività, fa dell'architettura l'espressione più alta della volontà di potenza come arte, al di là dell'opposizione tra apollineo e dionisiaco, ecco che l'architettura improvvisamente trasmuta da cenerentola a regina delle arti, anche se qualcuno ha osservato come questo apparente capovolgimento, è in

² Uno dei testi che fissa in qualche modo il problema del pensiero estetico moderno riguardo l'architettura "Les beaux Arts réduits à un même Principe" di Charles Batteux del 1746, si attua, infatti, una riorganizzazione delle arti diversa dalla distinzione medievale tra arti liberali e meccaniche, facendo apparire per la prima volta la locuzione di "belle arti" distinguendo in tal modo, dalle altre, quelle arti in grado di suscitare piacere producendo bellezza.

³ Questo destino permane, apparentemente, fino alla metà dell'Ottocento in tutti i testi cardine dell'estetica. Tanto per citarne alcuni, basti pensare alla distinzione Kantiana tra bellezza "libera" e bellezza "aderente" a causa della quale l'architettura non può essere oggetto di un "puro" giudizio sulla bellezza, bensì di un giudizio solo "applicato" che, volendo essere rigorosi, non è neppure un giudizio sul bello.

realtà un passaggio ampiamente preparato “tra le righe” già in precedenza⁴.

Di segno completamente opposto, invece, è la posizione che assume l'architettura quale referente esemplare nella riflessione estetica del novecento, e ciò accade in concomitanza con la perdita di centralità della nozione di bellezza nell'estetica.⁵

Paradigmatico è il caso di Walter Benjamin il quale nel suo saggio “L'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica” (1935 - 39) mostra come la rivoluzione tecnica abbia comportato un mutamento nel modo di percepire la realtà e, con esso, nel modo di fruire l'opera d'arte. Alla percezione contemplativa, infatti, si sostituisce una percezione a scatti, dominata da continui shock, continui aggiustamenti percettivi di fronte alla massa di stimoli cui si è sottoposti. Questa percezione sarà “distratta”, ossia dispersa, frammentata, perché non può concentrarsi su uno e un solo oggetto. Paradigma di questo nuovo modo percettivo è il cinema, la cui riproducibilità tecnica condiziona lo stesso modo di produzione, ma per Benjamin l'architettura è stata da sempre esempio di una tale percezione distratta, che lascia il percepito sullo sfondo.

⁴ Come osserva acutamente Ettore Rocca, l'interesse del pensiero estetico moderno per l'architettura si manifesta fin dal principio, poiché l'architettura è il luogo dove appunto viene messa in crisi la dualità bisogno/piacere estetico, bellezza/utilità, e la possibilità di fare una gerarchia tra le arti.

Già a rileggere più attentamente Batteux ci si accorge che Bellezza e bisogno non sono semplicemente opposti poiché nelle belle arti l'utilità è sussunta nel piacere estetico, mentre nell'architettura anche la bellezza sarà fruita come un bisogno, una sorta di reciproco rispetto alla poesia e alla pittura. In alcuni passi l'opposizione tra piacere e bisogni è messa in discussione ancor più radicalmente: il diletto e il piacere, oggetto delle belle arti, “sono nella vita, un secondo ordine di bisogni” che dunque richiede soddisfazione al pari dei bisogni primari.

Anche in Hegel traspare, in molte pagine, la consapevolezza che la bellezza null'altro è che un ulteriore bisogno.

Analogamente Rocca evidenzia argomentazioni simili anche per Kant, Schelling e Schopenhauer, dove l'architettura, pur considerata dichiaratamente ultima delle belle arti, appare spesso in una luce esattamente opposta, tale da far pensare che l'improvviso apparire dell'architettura al vertice delle arti in Nietzsche, come massima espressione della volontà, sia di fatto ampiamente preparato da una sorta di “fiume carsico” della riflessione estetica sull'architettura.

⁵ Il concetto di bellezza, infatti, perde il suo carattere oggettivo già dalla metà del '700 con le posizioni dell'illuminismo kantiano, il cui primo effetto è quello di detronizzare l'architettura tra le arti, quale paradigma della bellezza oggettiva, armonica, di stampo vitruviano. La bellezza, tuttavia, pur se in senso moderno, relativistico, rimane elemento centrale nella riflessione estetica fino agli inizi del novecento, quando anche tale concetto di bellezza viene abbandonato alla ricerca di nuove vie teoriche.

Ed è proprio in questo momento che l'architettura ritorna ad essere riconsiderata al vertice delle arti.

L'architettura diventa dunque referente esemplare di una percezione che non ha più nel concetto di bellezza il suo discriminante.

Se la bellezza non è più l'elemento discriminante per il giudizio estetico sull'architettura, allora quali elementi lo sono? Quali sono i compiti dell'estetica? Quali sono le domande a cui l'estetica del novecento ha tentato di fornire risposte?

Il discorso si fa complesso, e le declinazioni numerosissime, ma la riflessione, su cui si sposta tutta l'estetica del novecento, è tutta orientata su un problema preciso, quello di una definizione di "arte" che si svincoli dal concetto del bello, ci si chiede, in sostanza, cosa si intende per arte e cosa si intende per bello. Nei riguardi dell'architettura, in particolare, ci si chiede, in quali casi è possibile parlare di arte, e in che termini.⁶

⁶ Queste domande assumono due accezioni diverse a seconda che siano formulate da una delle due principali impostazioni metodologiche riscontrabili nell'estetica moderna, e cioè l'impostazione sistemico-definitoria che si chiede: che cos'è l'arte?, che cos'è il bello? e quella "sistematico comprensiva" che invece si chiede: che cosa intendiamo per arte?, che cosa intendiamo per bello?

Nel primo caso si imprime alla definizione una direzione ben precisa: nel sistema la domanda porta necessariamente alla definizione, con conseguente riduzione dell'orizzonte conoscitivo ed esclusione di ampi settori dell'esperienza. Questo accade laddove il sistema logico, che sta dietro alla riflessione estetica, è rigido: s'impone e si sovrappone alla realtà costringendola dentro le proprie maglie, come una sorta di mosaico, in cui ogni nuovo tassello deve necessariamente inserirsi nel sistema stesso, tutti gli elementi che vi debbono entrare sono necessariamente definiti in modo univoco. Un caso esemplare è quello dell'estetica crociana in cui il metodo scelto è quello che procede "dall'alto verso il basso", per via puramente speculativa, viene formulata un'idea dell'arte, che viene poi calata sulla realtà concreta, la visione e l'interpretazione della quale risultano essere da questa stessa idea "forzate" e condizionate esprimendo un carattere riduttivo dell'idea stessa di arte;

Anche le estetiche baumgartiana, quella kantiana, la hegeliana e quella positivista, sono accomunate dall'avere una natura sistemico-definitoria,

L'altro atteggiamento, quello sistematico-comprensivo, è, al contrario, caratterizzato da un'organizzazione del sistema flessibile e mutevole che non si impone alla realtà, ma cerca di organizzarla senza costringerla e modellandosi su di essa. Costruisce quindi un ordine senza imporlo, ma ricavandolo, al contrario, dalla realtà stessa.

In questo caso si rinuncia a formulare una definizione e ci si apre ad accogliere l'esperienza nelle sue molteplici manifestazioni. L'atteggiamento seguito è quindi quello del COMPRENDERE, cioè del disporsi ad accogliere e cogliere il senso delle varie definizioni d'arte, senso che viene colto grazie all'impostazione non sistemica, ma sistematica. Gli esiti sono sempre esiti momentanei che si pongono come ipotesi, cioè punti di partenza per una nuova ricerca, per cui si può dire dell'arte qualcosa di diverso a seconda del periodo ed essa è pensata come "vivente estetico", quindi come qualcosa di mutevole. Pertanto l'arte è indefinibile, cioè non definibile se non in modo relativo così come il bello, essa è continuamente definibile mediante definizioni che non sono verità assolute, bensì verità relative e provvisorie a non c'è tuttavia scetticismo o nichilismo e alla verità unica si contrappone la molteplicità delle verità, ciascuna delle quali ci dice qualcosa di vero sull'arte. Un esponente di questo atteggiamento è senz'altro Anceschi, il quale prende posizione nei confronti dell'estetica crociana, in particolare rispetto all'atteggiamento del filosofo che definisce l'arte prescindendo dall'esperienza vivente dell'arte stessa e procede solo sul piano speculativo.

L'architettura, dunque, è pienamente coinvolta nel discorso sulla definizione dell'arte a seconda che di volta in volta l'arte venga percepita e definita come messa in opera della verità (Heidegger), come evento a cui si attribuisce un significato ontologico, di disvelamento dell'essere - (Gadamer, Vattimo, Derrida, Brandi), o ancora arte come segno (Eco), come politica, utopia (Adorno), avvento dell'altro (Derrida), tecnica, ecc..

In ambito italiano, dove la questione maturerà con esiti fondamentali per lo sviluppo teorico del restauro, il problema dell'architettura entra nel vivo del dibattito speculativo innanzitutto come problema storiografico così che tra gli ultimi anni del XIX secolo e i primi anni venti del successivo, *“... da un lato si palesano gli esiti degli sforzi di fornire una coerenza “disciplinare” all'estetica, dall'altro, emergono quelli di una prima maturazione delle esigenze di autonomia dell'architettura, in quanto arte “speciale”, e cioè, da distinguere all'interno della tradizionale storia dell'arte”*.⁷

In particolare si deve a Giovannoni il merito di aver intuito che *“non era possibile una trasposizione tout court della metodologia di studio applicata alla storia dell'arte a quella dell'architettura, decretando, in tal modo, l'autonomia disciplinare di quest'ultima ...”*⁸

In una ben nota polemica con Adolfo Venturi, suo maestro, avvenuta negli anni '30, contrapponendosi alla visione di una storia dell'arte che si sviluppa sulla base di una riconosciuta successione di personalità artistiche emergenti, arriverà a dichiarare come a suo parere [...] *parte fondante della costituzione del processo artistico architettonico fossero tutti quei termini ritenuti comunemente eteronomi al prodotto dell'arte, come il cantiere, il committente, gli esecutori dell'opera, e quant'altro integri il fare del progettista-architetto*”.⁹

“... Non arriva al concetto di gusto, ma resta al di qua di questa conquista critica, insistendo sul carattere “collettivo” della creazione architettonica: non una personalità ma più personalità interagenti tra

⁷ B.G. Marino, *Restauro e autenticità ...*

⁸ Ivi

⁹ Ivi

loro. Restano dunque ancora da rinvenire i termini per definire il prodotto di questa collaborazione ed è indubbio che arrivati a questo punto, nonostante la sua aperta metodica, Giovannoni mostrava di avere il fiato Mozzo”¹⁰

Il problema storiografico dell'architettura si ritrova anche negli scritti dello stesso Benedetto Croce che com'è noto ha influenzato, con il suo contributo al pensiero estetico, tutta la cultura Italiana fino al secondo dopoguerra¹¹

“a soli due anni della pubblicazione dell'Estetica, il filosofo napoletano nel 1904 si occupò in un apposito saggio delle difficoltà per la storiografia architettonica ispirata alla sua teoria”¹². Si tratta del saggio dal titolo “Di alcune difficoltà concernenti la storia dell'architettura”.

“In tale saggio Croce polemizza e critica l'idea che l'architettura, come anche le arti applicate, sia considerata un'arte cosiddetta non libera, ammettendo, come immediata conseguenza la differenziazione tra arti libere e non. Tale argomentazione porta il filosofo ad osservare che tutte le arti (la musica quanto l'architettura) sono allo stesso tempo libere e non libere, laddove i condizionamenti esterni, dal problema economico a quello della tecnica, sono naturalmente dominati dall'arte che, in quanto tale, può e riesce a trascendere tali elementi eteronomi.

Ciò fa emergere due questioni: la prima riguarda tale rapporto di emancipazione/dominio dell'arte stessa nei confronti dei fattori deterministici; la seconda si collega al fatto per cui, se si può condividere il discorso della superiorità dell'arte rispetto ai condizionamenti di ordine pratico, in quanto ciò costituisce verità, si deve pure ritenere che questa sia una verità parziale. Non solo, infatti, risulta forzoso stabilire il come, il quando e il quanto della riuscita del

¹⁰ C. De Seta, *La cultura architettonica ...*

¹¹ E' interessante a tal proposito la celebre intervista di A. Bellini a Giulio Carlo Argan, (in “Tema” n.1, 1993, p.61) in cui lo studioso racconta come negli anni del fascismo l'idealismo Crociano ha costituito una sorta di pensiero unico, in Italia, per due fattori: da una parte Croce era considerato “la bandiera di un antifascismo comodo che non implicava delle azioni politiche” delle quali gli intellettuali italiani non avevano alcuna voglia, dall'altro l'impossibilità di reperire i testi di studiosi come Gobetti, Gramsci, Engels, Marx ha estromesso dal dibattito culturale, fino al secondo dopoguerra, altre posizioni non idealiste, come la visione dell'arte come “processo” di Marx, con evidenti implicazioni sul modo di intendere sia la storia che il restauro.

¹² R. De Fusco, l'idea di architettura ...

dominio in questione, ma il ragionamento escluderebbe tutti quegli episodi in cui i condizionamenti sono storicamente un processo di formazione di opere diffuse che, in quanto tali, venivano già riconosciute portatrici di valori".¹³

Posizioni critiche rispetto alla visione idealistica di un'architettura come opera d'arte definita in quanto opera compiuta e non come "processo", dimostrazione o essenza di uno "stile" strettamente legata alla sua genesi, sono in quegli anni ancora sporadiche ma cominciano a serpeggiare grazie alla diffusione in Italia della teoria dei valori di Riegl e alla citata polemica tra Venturi e Giovannoni in cui emergono i punti nodali irrisolti tra storiografia artistica e storiografia architettonica, primi sintomi di un "travaglio" del concetto stesso di "opera d'arte" che vedrà maturarsi soprattutto nel corso degli anni '30.

In questi anni è determinante il contributo di Giulio Carlo Argan che sviluppa una visione dell'opera d'arte come "momento della storia" colta nel suo divenire secondo un approccio di tipo strutturalista e non più marcatamente storicista. In tale visione, sebbene ancora sotto l'influenza dell'idealismo Crociano, si trova *l'accoglimento di una dimensione storica dell'opera nel suo divenire e l'apprezzamento del valore che tale divenire conforma e dona al documento.*¹⁴

Come egli stesso scrive: *"ciò che viene portato alla luce dell'analisi strutturalistica applicata alle arti visive è sempre una realtà storica o una situazione di cultura sorpresa nel suo divenire, e mai una costante comunque riferibile alla fisiologia o alla psicologia della percezione".*

Per Argan *"Le opere d'arte sono opere del passato, ma del passato a cui esse appartengono costituiscono, per noi, la presenza. Sono, diciamo pure, il passato _in quanto si fa presente per noi, ma presente con tutta la sua irrevocabilità del suo essere passato. In altre parole, l'opera d'arte si dà presente nel presente assoluto della coscienza che la recepisce. E questo presente assoluto non trapassa nel passato. perché, come vedremo, ne proviene". In tale contesto, _"Il Presente delle opere d'arte è un presente tutto passato, non modificabile: tale che proprio il*

¹³ B.G. Marino, *Restauro e autenticità ...*

¹⁴ Ivi.

suo esser passato (...) fa sì che noi non abbiamo il potere di impedir che sia stata, e ci sia, qui e ora, di fronte a noi: in questa testimonianza che è l'opera d'arte; e nemmeno può consentire, da parte nostra, alcun intervento operativo che, in quanto passato, lo faccia diventare altro da quello che è stato, ed essendo stato, è tuttora, nel presente assoluto delle coscienze”.

La dimensione storica diventa dunque elemento preponderante del valore estetico attuale dell'opera d'arte, e ciò emerge tanto nella tendenza, nell'analisi storiografica, alla rivalutazione dei periodi cosiddetti di decadenza, nell'attenzione riservata alle arti minori e agli episodi di “letteratura” artistica, ma soprattutto appare ancora una volta nel considerare l'architettura come opera d'arte a “statuto speciale”, nel senso in cui, proprio il carattere di “utilità”, che rende l'architettura soggetta a continue trasformazioni dovute all'uso nel tempo da parte dell'uomo, fa sì che, a differenza delle altre arti visive, la perdita della “figuratività” originale con la quale e per la quale è stata creata, ne compromette certamente la leggibilità, ma non ancora “l'autenticità”, e proprio tale peculiarità in qualche modo la “sublima”.

Da qui deriva la definizione stessa di restauro di Argan come “... attività rigorosamente scientifica e precisamente come indagine filologica diretta a ritrovare e rimettere in evidenza il testo originale dell'opera, eliminando alterazioni e sovrapposizioni di ogni genere e fino a consentire di quel testo una lettura chiara e storicamente esatta”¹⁵

Pur all'interno di una visione ancora intrisa di idealismo crociano, per la quale l'arte-architettura è opera compiuta di cui va ricercato il “testo originario”, si va, dunque, configurando, a poco alla volta, un'idea di arte-architettura come “*estrinsecazione di situazioni fondate sulla relazione tra ciò che fa parte della sua materia e ciò che la sua materia stessa –nelle proprie conformazioni intrinseche e capacità di trasmettere immagini- contribuisce a intessere con le esperienze, con i vissuti ..*”¹⁶

¹⁵ G. C. Argan, *Restauro delle opere d'arte. Progettata istituzione di un gabinetto centrale del restauro*, in “Le Arti”, a. I, fasc. II, 1938-39

¹⁶ B.G. Marino, *Restauro e autenticità* ...

Il tema della definizione di architettura, tuttavia, giungerà più avanti a una sua maturazione attraverso le argomentazioni teoriche di Cesare Brandi che rappresenta la figura chiave in cui trovano una sintesi i tre filoni speculativi che agiscono in gran fermento nel panorama culturale italiano di quegli anni e cioè storiografia, estetica e restauro, con esiti ancora oggi in gran parte validi ancorchè dibattuti.

Il percorso del suo pensiero circa l'architettura può essere ricostruito attraverso alcuni saggi della sua maturità quali *l'Eliante o dell'Architettura* (1957), i cui temi sono ripresi in gran parte nella conferenza *Struttura e architettura* (1967), ma anche *Teoria generale della critica*, o ancora *Prima architettura barocca*, *Disegno dell'architettura italiana*.

L'interesse specifico per l'architettura come arte a statuto speciale, nasce ancora una volta dalla difficoltà di applicare la sua teoria estetica espressa in modo estremamente articolato nel *Carmin*e con riferimento all'arte figurativa pittorica, proprio all'architettura. Per la pittura, così come per le altre arti figurative, infatti, il processo di creazione artistica fa capo alle due fasi di “costituzione d'oggetto” e quella di “formulazione d'immagine” in cui permane comunque un legame, seppur mediato, con l'esistente sotto forma di quella che lui chiama la “sostanza conoscitiva dell'immagine”. Per l'architettura, invece, non ci si può ricondurre in alcun modo a questa fenomenologia della creazione artistica, perché “*mentre le altre arti partono da un oggetto naturale, l'architettura non ha oggetto*”. “*Alla radice dell'operare architettonico non c'è un modello esterno sul quale agire con la riduzione, ma un bisogno pratico, un'esigenza materiale. Con ciò però le difficoltà per la teoria esposta nel Carmin*e sembrano intensificarsi, e in un certo senso raddoppiarsi: per un verso infatti risulta impossibile trovare per l'architettura qualcosa di simile al momento della costituzione d'oggetto, per un'altra la finalità utilitaria inscindibile dall'architettura sembra impedire fin dall'inizio che essa si costituisca come pura figuratività, come quella realtà pura,

*cioè sottratta ad ogni legame con l'esistenza che è per Brandi, per il Brandi del Carmine, l'arte*¹⁷

Ritorna, dunque, il problema dell'utilità dell'architettura a minare, questa volta, la distinzione brandiana tra realtà pura e realtà esistenziale, che è alla base della sua personale fenomenologia dell'arte.

Cioè, in termini brandiani, l'architettura, in quanto opera d'arte, è dotata di una particolare forma di "astanza" (realtà pura) a base ottica, (cioè che si dà alla coscienza attraverso lo sguardo) che si presenta diversa dalle altre analoghe manifestazioni di astanza e la base di partenza da cui bisogna partire per affrontare tale questione, in modo separato dalle altre arti, consiste nell'osservarla secondo una particolare e peculiare prospettiva che è quella dello *spazio*. Spazio che va inteso in senso esteso e cioè *"non solo lo spazio in cui si accampa l'opera architettonica e quello che sviluppa, ma soprattutto l'opposizione fra quest'ultimo spazio, che è chiamato spazialità, e lo spazio fenomenico che ci circonda e in cui siamo, per così dire, immersi"*¹⁸.

Attraverso la spazialità come dato intrinseco, dunque, comincia finalmente a delinearsi lo statuto dell'architettura:

*"il primo rilievo che si impone è di qualcosa che trasforma lo spazio naturale costituentesi all'osservazione come contenuta in quello spazio, ma non allo stesso modo di una pianta o di una montagna. Che fruisca delle stesse condizioni di visibilità (luce, trasparenza atmosferica ecc.) e di estensione sulla crosta terrestre, come la montagna o l'albero, non toglie che si avverta subito una differenza, e che il suo essere prodotto umano si imponga"*¹⁹

E qui torna alla mente la celeberrima definizione di Morris secondo il quale:

¹⁷ P. D'Angelo, *prefazione a Arcadio o della scultura, Eliante o dell'architettura* cit. pp. XXIV-XXV. Tali argomentazioni sono state in parte svolte in B. G. Marino, *Brandi and achitecture: "astanza" and "recognition" in work of art/architecture*, in Atti del seminario internazionale "Theory and Practice in conservation, A tribut to Cesare Brandi" (Lisbon, 4-5 may 2006), a cura di L.M. Mimoso e J.R. Delgado, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbona, 2006.

¹⁸ C. Brandi, *Teoria generale della critica*, cit., p. 300, citato anche da B.G. Marino, *Restauro e autenticità ...*

¹⁹ Ivi

“[l’architettura] rappresenta l’insieme delle modifiche e delle alterazioni operate sulla superficie terrestre, in vista delle necessità umane, eccettuato il puro deserto”²⁰

Ma a questo punto l’architettura non è ancora completamente messa a fuoco come opera d’arte, in senso brandiano, poiché tali riflessioni valgono per qualsiasi opera tettonica costruita per mano dell’uomo ai fini della sua utilità. A completarne lo statuto, allora, interviene l’affermazione tratta dall’esempio della cupola di S. Pietro in cui:

“qualsiasi elemento presente in una architettura, che possa materialmente essere individuato come a se stante, proprio in quanto fa parte di una struttura spaziale compiuta, perde quell’individualità. E se è così, anche ciò che è apparentemente esterno o apparentemente interno, deve subire un’alterazione, se tale eternità e internità non devono risultare puramente fenomeniche”²¹

Insomma, la realtà “astante” dell’opera d’arte intesa come *realtà pura*, priva della dimensione empirica, che è alla base della teoria brandiana sull’arte, non sembra una condizione direttamente riferibile alla realtà architettonica, in quanto questa è pervasa dalla dimensione empirica, “flagrante” determinata dalla sua utilità in risposta al bisogno di riparo dell’uomo e dal suo essere realtà storica in divenire, in altri termini:

“L’architettura appare permeata da una conoscenza sensibile condizionata dall’interazione con l’attività percettiva in quanto tale; è una formazione derivante dalla produzione dell’uomo, quindi, storicamente pregnante; infine, essa è sostanziata dall’affermazione delle relazioni tra le parti che, in maniera dinamica, vengono a stabilirsi all’interno del processo fenomenico della loro apparenza”²²

La dimensione empirica, viene ancora sottolineata da Brandi allorquando in aperta critica verso le interpretazioni strutturalistiche e semiotiche dell’architettura, affermerà che *“ammesso e non concesso che si possa parlare di segno architettonico, la sostanza deve essere il marmo, il*

²⁰ William Morris, *Prospects of Architecture in Civilization*, 1881

²¹ C. Brandi, *Teoria generale della critica*, cit., p. 300, citato anche da B.G. Marino, *Restauro e autenticità* ...

²² Ivi

travertino, il cemento armato: l'architettura non è architettura, anzi non se ne può proprio parlare, se non è realizzata”.

Il concetto di architettura come un “... *qualcosa che trasforma lo spazio naturale costituentesi all’osservazione come contenuta in quello spazio ...*” rimanda al concetto che le trasformazioni e le mutazioni che la connotano non appartengono soltanto al dominio della fabbrica ma anche al contesto in cui essa è immersa e che ne condiziona la percezione e, contemporaneamente, ne è da essa, a sua volta, condizionato, attraverso una rete complessa di relazioni reciproche. Ciò emerge in tutta la sua evidenza nella trattazione del problema del “rudere” quando afferma che:

“alla delimitazione negativa del concetto di rudero , come di avanzo di opera d’arte che non essere fatta risalire all’unità potenziale, si contrappone la determinazione positiva di avanzo di opera d’arte che, senza poter essere fatta risalire all’unità potenziale si connette ad altra opera d’arte da cui riceve e a cui impone una speciale qualificazione spaziale, o adegua a sé una data zona paesistica ”²³

Si comprende, a questo punto quale complessità di relazioni l’arte-architettura intesse con l’ambiente in cui è immersa, intendendo per ambiente tanto il contesto urbanistico, cioè il rapporto con altri manufatti d’architettura e lo spazio urbano, tanto il paesaggio e il contesto territoriale, tanto il contesto antropologico e sociale. Quest’ultimo aspetto, infatti, emergerà in tutta la sua cogenza quando, grazie al contributo di Roberto Pane, si paleserà l’esistenza di altre istanze come quella psicologica, intesa come il riferimento a quell’ “*antichità che è stratificata in noi stessi e che va considerata come premessa e condizione di ogni nostro divenire*”²⁴, che comporta una necessaria attenzione anche alle dinamiche sociali ed antropologiche connesse col manufatto.

Prende forma, dunque, l’idea di architettura come “un’arte” che è tale in virtù delle sue trasformazioni indotte dall’uso; e che pur tuttavia esplica un insieme molto complesso di istanze che, nel suo svolgersi dimensionalmente, geometricamente, materialmente, stilisticamente, in

²³ C. Brandi, *Il restauro e l’istanza estetica ...*

²⁴ Roberto Pane, *L’antico dentro e fuori di noi* (1966).

una parola, storicamente, si conforma in stretta connessione con il suo ambiente.

La complessità dell'oggetto artistico-architettonico, sta dunque, nel suo essere simultaneamente documento storico e realtà estetica e la comprensione di tale complessità è alla base di quell'atto d'interpretazione critica²⁵ che è il momento metodologico del riconoscimento dell'opera d'arte, cioè il restauro.

Ulteriori contributi al problema della connotazione dell'architettura come opera d'arte emergeranno nel secondo dopoguerra quando l'influsso di Croce andrà affievolendosi in favore di altre posizioni sviluppatesi in Europa in campo estetico da angolazioni diverse.

Abbandonando per un attimo il discorso intrapreso sull'architettura come problematica specifica in campo estetico, vale la pena, infatti, riportare due contributi al dibattito di quegli anni, fondamentali per quanto riguarda la chiarificazione di alcuni aspetti dell'opera d'arte in generale, le cui implicazioni nel campo dell'architettura appariranno di immediata lettura, soprattutto ai fini del nostro ragionamento.

Emerge in tal senso il contributo di M. Heidegger soprattutto per l'influenza che il suo saggio "Sentieri interrotti" avrà in ambito italiano nel secondo dopoguerra.

In tale lavoro Heidegger si occupa dell'essenza dell'opera d'arte partendo da un'angolazione del tutto inusuale per la cultura Crociana, connotando fin da subito l'opera d'arte come una "cosa" che è contemporaneamente qualcosa in se e qualcos'altro da se, dove *la "cosità" dell'opera è vista come "una specie di basamento in cui e su cui poggia l'altro, l'autentico"*²⁶ Partendo da tale assunto, egli considera, nelle possibili modalità di essere della cosa, il suo essere "materia" (colore, suono, durezza, massività), più precisamente materia che possiede una forma, dunque "materia formata". Essa si presenta a noi nella sua immediatezza visiva, nel suo aspetto e ciò è valido tanto per le cose di natura che per

²⁵ "...un acte d'interprétation critique, destiné à rétablir une continuité formelle interrompue, dans la mesure où celle-ci reste latente dans l'œuvre mutilée, et où la reconstitution rend à la structure esthétique la clarté de lecture qu'elle avait perdue" (A. e P. Philippot, 1959)

²⁶ M. Heidegger, Sentieri interrotti (Holzwege)

quelle d'uso. Le condizioni affinché l'opera si manifesti nel suo essere, sono proprio "l'usabilità" e il "deperimento" della materia.

Heidegger arriva ad affermare che l'opera d'arte non è altro che la possibilità di una cosa di manifestarsi come "verità" e l'essere dell'opera diviene il momento di fusione indistinguibile tra il momento fisico e quello intangibile, immateriale.

A tale proposito fa notare Paolo Fancelli:

*" .. la verità a cui aspira l'arte è senza dubbio una verità tormentata, antinomica, ineffabile ed, insieme, sfuggente. L'arte, nella sua procedura, è lotta, è conflitto tra la materia bruta, caduca, limitante e limitata, vincolante e deperibile e la sua apparentemente contraddittoria aspirazione appunto alla perfezione e, dunque, all'eterno presente, alla realtà pura, all'astanza, al momento extratemporale, per esprimersi in termini brandiani. [...] Ciò dimostra ogni oltre misura la verità dell'assunto intorno all'intima antinomicità della natura dell'arte, alla divaricazione esistente tra la sua consistenza fisica, caduca, storica e transeunte, e la sua aspirazione all'universale, al perfetto, all'immodificabile, divaricazione che, per altro, si annulla, ed insieme si esalta nel concreto e nello specifico dell'opera riuscita, giusta la definizione di Luigi Pareyson."*²⁷

La particolare visione Heideggeriana, infatti, apre la strada, in Italia, a un altro fondamentale contributo che è quello di L. Pareyson. Questi ha avuto il grande merito di aver compreso che nella visione idealistica crociana dell'arte è stato messo da parte *"l'aspetto più essenziale e fondamentale, che è quello esecutivo e realizzativo, con grave pregiudizio della teoria e della pratica dell'arte"*²⁸ perché *"l'arte è espressione in quanto è forma, cioè organismo che vive per conto suo e contiene tutto ciò che deve avere [...]"* La forma è espressiva in quanto il suo stesso essere è un dire ed essa non tanto ha, quanto è un significato²⁹

²⁷ P. Fancelli,

²⁸ B.G. Marino, *Restauro e autenticità* ...

²⁹ L. Pareyson, *I problemi attuali dell'estetica* ... cit. in B.G. Marino, *Restauro e autenticità* ...

Pareyson, dunque, definisce il suo concetto di arte, attraverso il concetto di forma. Egli non è il primo a parlare esplicitamente di forma, molti prima di lui hanno utilizzato tale concetto in vario modo tanto in estetica che in altri campi affini come la filosofia o la sociologia –si pensi, ad es. agli scritti di G. Simmel poi ripresi in vario modo dall'esistenzialismo- e anche nel campo teorico del restauro si è parlato sovente di forma, spesso come contrapposto al concetto di “contenuto” o come di qualcosa che sta tra la dimensione fisica e quella intangibile del manufatto artistico che è compito del restauro liberare, basti ricordare Renato Bonelli per il quale *“... Ogni operazione dovrà essere subordinata allo scopo di reintegrare e conservare il valore espressivo dell'opera, poiché l'intento da raggiungere è la liberazione della sua vera forma”*³⁰

Tuttavia Pareyson argomenta il concetto di forma con un'angolazione e un metodo talmente rigoroso e articolato da costruire una vera e propria teoria estetica, un'estetica della formatività.

Nota in proposito Fancelli: *“Certo è che troppo sovente, in estetica si parla di forma, ma di questa non nella vera pienezza della sua portata, come sicuramente fa, invece, Luigi Pareyson, bensì in quanto astratto ed impalpabile scheletro della forma vera, che è forma formante e forma formata, forma affidata ad una materia ed indissolubilmente, irriproducibilmente, veicolata da questa; forma, infine, dotata di uno spessore, di una grana, di una tessitura, di impurità, di alterazioni per l'azione del tempo e/o dell'uomo, di una patina, di colori forse rilevabili in assoluto, ma cangianti con le condizioni di luce, e quindi con l'atmosfera, il sito. Materiali, a loro volta, questi ultimi, dell'opera stessa, come correttamente intende Brandi.*

*Insomma, più che di forma, già intesa da G. Simmel come confine, come la cosa stessa ed, all'istante, come il cessare della medesima*³¹, *mi pare che si possa parlare di immagine, vocabolo più comprensivo, anche se*

³⁰ R. Bonelli, voce “Restauro”, in Enciclopedia Universale dell'Arte, vol. XI, Sansoni, Firenze 1963, PP. 348 e ss.

³¹ «Il segreto della forma sta nel fatto che essa è confine; essa è la cosa stessa, e nello stesso tempo, il cessare della cosa, il territorio circoscritto in cui l'Essere e il Non-più-essere sono una cosa sola». G. Simmel, *Metafisica della Morte* apparso su «Logos» (1910-11)

mi è ben noto che ciascuno dei due termini manifesta delle innegabili ambiguità. “

Cosa Pareyson intenda per arte, dunque, lo dichiara subito, in apertura della sua “Estetica della formatività” dove afferma che: *“Questa attività che inerisce genericamente a tutta l’esperienza e che, se opportunamente specificata, costituisce ciò che propriamente chiamiamo arte, è la “formatività”, cioè un tal “fare” che mentre fa, inventa il “modo di fare”: produzione ch’è, al tempo stesso e indivisibilmente, invenzione. Tutti gli aspetti dell’operosità umana, dai più semplici ai più articolati, hanno un carattere, ineliminabile ed essenziale, di formatività. Le attività umane non possono esercitarsi se non concretandosi in operazioni, cioè in movimenti destinati a culminare in opere; ma solo facendosi forma l’opera giunge ad esser tale, nella sua individua e irripetibile realtà, ormai staccata dal suo autore e vivente di vita propria, conclusa nella indivisibile unità della sua coerenza, aperta al riconoscimento del suo valore e capace di esigerlo ed ottenerlo: nessuna attività è operare se non è anche formare, e non c’è opera riuscita che non sia forma.*

[...]Inutile insistere sull’evidente aspetto realizzativo, esecutivo e poetico della formatività: formare significa, anzitutto. “fare”, “poieîn”. Bisogna piuttosto ricordare che il “fare” è veramente un “formare” solo quando non si limita ad eseguire un qualcosa di già ideato o a realizzare un progetto già stabilito o ad applicare una tecnica già predisposta o a seguire regole già fissate, ma nel corso stesso dell’operazione inventa il modus operandi, e definisce la regola dell’opra mentre la fa, e concepisce eseguendo, e progetta nell’atto stesso che realizza. Formare, dunque significa “fare”, ma un tal fare che, mentre fa, inventa il modo di fare.

[...] Ma un fare che insieme inventi il modo di fare implica che si proceda per tentativi, e il buon esito di un’operazione di questo genere è, propriamente, una riuscita; si che non si può penetrare la natura della forma e del formare se non si coglie l’inseparabile nesso che li congiunge rispettivamente con la riuscita e col tentare.”³²

³² L. Pareyson, *Estetica della formatività*, (1a ed. 1954), Tascabili Bompiani, 1988

Di grande interesse è l'approdo di tale discorso, laddove afferma che:

*[...] In ciò consiste il carattere tentativo e formativo, e quindi genericamente "artistico", di ogni operazione umana, sì che si può dire che l'intera vita spirituale è, in qualche modo, arte: in ogni campo dell'operosità umana niente si può fare senza insieme inventare in qualche maniera il modo di fare. [...] Ne risulta un vastissimo e inesauribile campo d'indagine per l'estetica, la quale solo per un'amputazione non meno letale che artificiosa è giunta a limitare la propria considerazione dell'arte propriamente detta, privando così la vita spirituale di questa sua ricchezza e sé stessa degli utilissimi contributi che quelle indagini potevano apportare al suo scopo."*³³

Il che rappresenta, di fatto, un'estensione del concetto stesso di "arte" che, trasposto all'architettura, sembra corrispondere perfettamente all'evoluzione in senso estensivo del concetto di "monumento" come espresso nel 1954 da Giovannoni³⁴ e recepito nella Carta di Venezia del 1964³⁵

Riportando, allora, il discorso nell'alveo dell'architettura, si può concludere che, da un lato, il sentire, il pensiero, il bisogno, la storia e la cultura dell'uomo, dall'altro le leggi ed i fenomeni della natura, plasmano una "forma" materiale che è il risultato dell'interazione contemporanea di tutti questi elementi.

"Forma" allora è il termine critico, l'oggetto della conoscenza ai fini della conservazione, il terreno di confronto tra l'oggetto e il soggetto conoscente del restauro.

Forma non è, in quest'accezione, sinonimo di figura, immagine, icona, così come non è l'opposto di "contenuto" secondo la tradizione idealistica Crociana, forma non è neanche mera struttura geometrica o percettiva o modello ideale.

³³ Ivi

³⁴

³⁵ Art. 1 – La nozione di monumento storico comprende tanto la creazione architettonica isolata quanto l'ambiente urbano o paesistico che costituisca la testimonianza di una civiltà particolare, di un'evoluzione significativa o di un avvenimento storico. Questa nozione si applica non solo alle grandi opere ma anche alle opere modeste che, con il tempo, abbiano acquistato un significato culturale.

*“Forma comprende la materia, il suo stato, gli sforzi ai quali è sottoposta, l’invisibile gioco delle armature metalliche, la giacitura dei piani dei singoli conci, la distribuzione delle forze e delle reazioni, i moduli di elasticità e di inerzia, i tipi di lavorazione e gli utensili relativi, il confronto con le diverse soluzioni storicamente date al problema statico e a quello estetico, le teorie per essi formulate, i rispettivi perché. Ciò che interessa il restauratore, ciò che va conservato e rilevato/rivelato, non è l’aspetto, l’apparenza, l’immagine o la pura metrica dell’edificio e dei suoi elementi, ma l’insieme dei parametri estetici, statici, tecnicistici che ne legittimano l’appartenenza al campo dell’architettura”.*³⁶

Forma, in estrema sintesi, è da un lato motivazione ed esito del progettare dell’uomo, così come giunto all’attualità nel suo divenire temporale e, proprio in quanto tale, è dall’altro lato l’oggetto stesso del restauro e della conservazione.

Forma, in questa accezione, è quindi un oggetto di conoscenza complesso che possiede una molteplicità di livelli di indagine e che rappresenta da un lato la dimensione nella quale si realizza l’opera e dall’altro un luogo che trascende la fisicità pur essendovi legata.

Ma come si attua la conoscenza della “Forma” ai fini della sua conservazione?

Qual è il rapporto tra forma e rappresentazione, cioè, tra realtà e immagine?

Tali quesiti coinvolgono un campo vastissimo d’indagine che è quello della conoscenza che qui tuttavia ci interessa affrontare unicamente in relazione al problema conservativo dell’architettura.

Dal punto di vista della disciplina del restauro, infatti, non si può non notare una comunanza problematica tra la ricerca brandiana e la definizione dei nodi critici del problema della rappresentazione della realtà architettonica.

Il tema del rapporto tra realtà e immagine, infatti, è una questione che attraversa, più o meno esplicitamente, tutto il pensiero estetico di Brandi.

³⁶ Vittorio Ugo, *Rilievo e pro-duzione*, in Tema 3-4, 1996

Il presupposto filosofico è, infatti, la fenomenologia di Husserl, allievo di Franz Brentano, che, in ambito gnoseologico, pone al centro della propria riflessione l'esperienza intuitiva, dove la realtà si presenta a noi attraverso un riflesso fenomenologico, ovvero indissolubilmente associata al nostro particolare punto di vista. Alla base di tale approccio, vi è l'idea che nell'esperienza sensibile e estetica, l'oggetto non si prefigura come materia in sé ma sempre come rappresentazione della mente e che la coscienza sia sempre intenzionale, cioè sia diretta ad un oggetto, che abbia un contenuto.

Tale presupposto fenomenologico emerge in tutta la sua chiarezza in un noto saggio pubblicato sulla rivista "l'immagine" del 1947³⁷ nel quale Brandi affronta la questione del pensiero estetico di Sartre.

In tale occasione egli rileva, nel pensiero del filosofo francese, il tentativo di cogliere i meccanismi attraverso cui l'immagine del reale si forma nella coscienza nel rapporto sensibile col reale stesso, assumendo che l'immagine non è un qualcosa di estraneo alla coscienza, ma *"la coscienza stessa che si dà in immagine"* e dunque immagine e realtà sono due entità "eterogenee" che non possono coincidere. Al contrario non vi è eterogeneità tra immagine e pensiero e dunque tra conoscenza e immagine. A chiarimento del suo pensiero Sartre adopera un esempio illuminante: quello del ritratto di Carlo VIII che, in quanto tale, era un *"oggetto. Non è ben inteso lo stesso oggetto che la tela, il quadro, gli strati reali della pittura. Finché consideriamo la tela e il quadro, per se stessi, l'oggetto estetico "Carlo VII" non apparirà [...] Apparirà nel momento in cui la coscienza, compiendo una conversione radicale che suppone l'annichilazione, si costituirà essa stessa come immaginativa [...] E come quel Carlo VIII, che è un irreale, in quanto colto sulla tela, è precisamente l'oggetto dei nostri apprezzamenti estetici [...] siamo condotti a riconoscere che in un quadro l'oggetto estetico è un irreale"*.³⁸

³⁷ C. Brandi C., *Sulla filosofia di Sartre*, in "l'immagine", a. I, n. 4, settembre-ottobre e n.5, novembre-dicembre. 1947

³⁸ J.P.Sartre, *L'imaginaire. Psychologie phénomenologique de l'imagination*, Gallimard, Paris 1940, trad. it. Immagine e coscienza, Psicologia fenomenologica dell'immaginazione, Einaudi, Torino 1964. Cit. in B.G. Marino, *Restauro e autenticità*.

In proposito, però, Brandi osserva che *“L'irrealtà dell'oggetto in immagine di contro all'oggetto della realtà esistenziale non può essere nemmeno discussa; ma se l'intenzione della coscienza quando si dà in immagine, mira alla realtà, dà luogo a una struttura esistenziale, per cui l'immagine non vale più come irreale ma come surrogato del reale.”*³⁹

Emerge dunque un dato importante ai fini della nostra riflessione: per Sartre, ma anche per Brandi, realtà e rappresentazione (immagine) sono due entità diverse che non possono coincidere in alcun modo poiché eterogenee, l'immagine è senza alcun dubbio irreale. Tuttavia, l'unica possibilità di esperienza e dunque di conoscenza del reale, passa necessariamente attraverso il “darsi della coscienza in immagine” e questo si rivela un nodo problematico che Brandi tenta di superare facendo ricorso proprio al concetto fenomenologico dell'intenzionalità della coscienza, precisando che se la coscienza mira al reale, l'immagine è più soltanto irreale, ma un *“surrogato della realtà”*.

Questo surrogato della realtà non è altro che la sua “rappresentazione”, il suo “ritratto”, in analogia al ritratto di Carlo VIII, che, anche se non potrà in alcun modo coincidere con la realtà stessa, tuttavia rappresenta l'unica via, per la coscienza, di sperimentarne l'esistenza.

Emergono immediatamente e chiari, dunque, i nodi critici che configurano il problema della rappresentazione dell'architettura per la conservazione, e cioè la soggettività e l'intenzionalità dell'esperienza sensibile e dunque l'essere, la conoscenza, sempre e comunque un'interpretazione del reale.

*“Si apre allora il discorso intorno al fare ermeneutico. Il processo interpretativo diviene, in tal senso, lo strumento per giungere alla coincidenza tra la cosa e l'immagine che si cerca di assegnare alla cosa stessa. Lo strumento, insomma, che consente di vedere la forma come forma”*⁴⁰

L.Pareyson chiarifica, dunque il problema dell'interpretazione e del suo processo:

³⁹ Ivi

⁴⁰ Cfr. L. Pareyson, *Filosofia dell'interpretazione*, antologia di scritti a cura di Marco Ravera, Rosenberg e Sellier, Torino 1988, cit. in B.G. Marino, *Restauro e autenticità*

La conoscenza sensibile riesce a cogliere la realtà delle cose solo in quanto ne figura, e quindi ne produce e ne forma, l'immagine: più precisamente un'immagine così ben riuscita che riveli, anzi sia la cosa stessa. Si tratta di figurare "schemi" d'interpretazione e di commisurarli via via alle scoperte che sgorgano continuamente dal felice incontro d'uno spunto fecondo e d'uno sguardo attento, e di eliminare o sostituire o correggere o integrare questi schemi a seconda ch'essi siano più o meno lontani dall'oggetto, attraverso un processo in cui lo sforzo di fedeltà non si lascia scoraggiare dagli inevitabili insuccessi e non cede alle sollecitazioni dell'impazienza, anzi conserva sempre la possibilità del confronto e la necessità della verifica, sino a che non si trovi finalmente "l'immagine", che rivela la cosa e in cui la cosa si svela. Si tratta evidentemente di un processo formativo, giacchè queste "figure", sia quelle eliminate dallo sforzo di fedeltà che quelle adottate dallo sforzo di penetrazione, sia gli "schemi" provvisori che l'"immagine" definitiva, sono figurate, realizzate, prodotte, formate dal soggetto conoscente: l'intento di cogliere e penetrare le cose implica, sollecita ed esige la produttività che ne deve figurare le immagini.

[...] Tutto ciò si spiega soprattutto se si pensa che la conoscenza umana in generale ha un carattere interpretativo. L'interpretazione ha appunto questo carattere produttivo e formativo, per cui a un movimento in cui si figurano e via via si controllano e correggono gli schemi interpretativi, succede infine la quiete del trovamento, in cui l'immagine capta e rivela la cosa. Ciò è conforme, del resto, alla natura dell'interpretazione, la quale è un tipo di conoscenza squisitamente attivo e personale: la sua natura attiva spiega il suo carattere produttivo e formativo, e la sua natura personale spiega come essa sia movimento, irrequietezza, ricerca di sintonia, insomma incessante figurazione.⁴¹

Anche Pareyson, dunque, coglie nella conoscenza il carattere di soggettività intrinseca e anche il suo carattere "intenzionale" rappresentato dall'essere un processo formativo, attivo, continuamente in fieri, intento a cogliere, penetrare le cose per un qualche scopo.

⁴¹ L. Pareyson, *Estetica della formatività*, (1a ed. 1954), Tascabili Bompiani, 1988

Ciò, d'altronde, lo si coglie anche nell'etimo stesso di "conoscenza" che deriva, in latino, da co-gno-sco (dove co- sta per 'con', e -sco sa per 'cominciare a'); C'è in questo 'comincio ad accorgermi', un richiamo dell'aspetto dinamico, costruttivo della conoscenza, la quale non esiste a priori, può essere solo colta nel suo farsi, c'è il senso del divenire, dell'accumulazione; nel significato linguistico, poi, vi è il senso del "riconoscere", "discernere" o anche "distinguere" nella realtà un qualcosa quindi che rimanda ad un preesistente bagaglio di conoscenza. Aspetto che, rimanda senza dubbio ai giudizi "sintetici a priori" di Kant, che nella sua critica all'empirismo tedesco, allineandosi al pensiero aristotelico, affermò che la conoscenza è un processo essenzialmente critico, in cui la mente umana svolge un ruolo fortemente attivo. La vera conoscenza si ha appunto, quando formuliamo i citati giudizi "sintetici a priori": questi sono da un lato a priori, perché nascono dall'attività delle nostre categorie mentali; dall'altro però tali categorie si attivano solo quando ricevono dati empirici da trattare, ottenuti passivamente dai sensi.⁴²

L'esperienza sensibile, dunque, non è affatto neutrale.

Anche Schopenhauer parlava di "vedere intenzionale e direzionato", la relazione stessa tra oggetto e soggetto è per lui "rappresentazione"⁴³.

⁴² Cfr. E. Kant, *Critica della ragion pura*, ed. a cura di P. Chiodi, UTET, 2005.

⁴³ La rappresentazione ha due aspetti essenziali: il soggetto rappresentante e l'oggetto rappresentato. Entrambi esistono soltanto all'interno della rappresentazione, come due lati o parti di essa, tanto che non può esistere soggetto senza oggetto. L'oggetto esiste perché vi è un soggetto che lo prende in considerazione nella rappresentazione e così il soggetto prende coscienza di sé proprio tramite il suo rapportarsi con gli oggetti. La rappresentazione, infatti, non è più intesa in senso kantiano, come l'oggetto di qualsiasi atto conoscitivo, bensì per Schopenhauer è il risultato del rapporto necessario tra soggetto e oggetto. Rapporto in cui entrambi sono sullo stesso piano. Il soggetto non è prioritario rispetto all'oggetto né l'oggetto è prioritario rispetto al soggetto. L'assenza di priorità dell'elemento soggettivo fa sì che le forme a priori non siano più il dato soggettivo che, secondo il pensiero kantiano, va a sommarsi a quello empirico "costituendo" l'oggetto, bensì che tali forme a priori siano già implicite, nella rappresentazione, cioè in quell'atto assolutamente primo in cui concorrono parimenti soggetto e oggetto.

Schopenhauer riprende da Kant i concetti di fenomeno e noumeno. Il fenomeno è il prodotto della nostra coscienza, esso è il mondo come ci appare mediante le forme a priori dell'intelletto (tempo, spazio, causalità), mentre il noumeno è la cosa in sé, fondamento ed essenza vera del mondo. Il fenomeno materiale è dunque per Schopenhauer solo parvenza, illusione, sogno: tra noi e la vera realtà è come se vi fosse uno schermo che ce la fa vedere distorta: il velo di Maya di cui parla la filosofia indiana, alla quale Schopenhauer spesso si rifà.

Più recentemente, Karl Popper, proseguendo sulla linea aristotelica-kantiana, sostenne che la conoscenza è un processo esclusivamente deduttivo che si basa sul metodo dei tentativi e della confutazione. L'apprendimento, cioè, non deriverebbe dall'osservazione induttiva della realtà, bensì dalla nostra immaginazione creativa, da anticipazioni ingiustificate della realtà stessa (le congetture) che di volta in volta vengono messe alla prova. La vera conoscenza è dunque falsificabile, formulata cioè in modo tale che la sua sottomissione ad un esperimento possa eventualmente attestarne la falsità.⁴⁴

Da tale affermazione deduce poi che solo le teorie e le affermazioni fondate scientificamente sono confutabili, mentre quelle infondate non potrebbero esserlo.

Da tutte queste riflessioni si deduce che il rapporto tra il soggetto e l'oggetto della conoscenza è sempre mediato e filtrato da pre-giudizi intrinseci di ordine razionale e culturale, tali pregiudizi formano dei modelli razionali predeterminati che servono a scomporre la complessità del reale in parti più elementari al fine di raccogliere i dati che il soggetto conoscente ritiene significativi, modelli che vengono poi confutati, falsificati o confermati di volta in volta dai dati stessi raccolti. Tutte queste informazioni vengono poi collegate tra loro in un ulteriore modello razionale finale che a questo punto non può certo rappresentare l'immagine fedele ed univoca del reale ma solo uno dei tanti modelli interpretativi possibili.

Inquadrato in parte la questione, siamo pronti, a questo punto, a fare una serie di considerazioni teoriche dai risvolti certamente operativi, cominciando col mettere a fuoco, innanzitutto, uno dei nodi principali del problema: se la conoscenza di una realtà complessa, come è la forma architettonica nell'accezione precedentemente enunciata, si attua attraverso la costruzione di modelli interpretativi pre-figurati e falsificabili di volta in volta, ciò che viene indagato non è più la realtà in tutta la sua complessità ma solo un suo modello che altro non è se non una sua immagine, un suo "surrogato", uno dei tanti possibili. E ciò in

⁴⁴ Intervista a Karl Popper sul metodo ipotetico deduttivo

perfetto accordo con il pensiero fenomenologico che abbiamo richiamato in precedenza, che affermava che realtà e immagine, all'interno dell'esperienza sensibile, non possono in alcun modo coincidere, in quanto entità eterogenee.

Ma se ciò è vero, e lo è senz'altro, come facciamo a sapere se il modello / immagine che costruiamo è aderente o meno alla realtà che vogliamo indagare e fino a che punto tale modello è in grado di rappresentarla?

E' noto che nell'uso scientifico e tecnico-progettuale, un modello è una rappresentazione di un oggetto o di un fenomeno, che corrisponde alla cosa modellata per il fatto di riprodurre (evidentemente alla luce di precisi riscontri fattuali ottenuti a partire da un metodo che sia garanzia di controllabilità) alcune caratteristiche o comportamenti fondamentali opportunamente selezionati.

Per quanto possa essere scientificamente costruito un modello è, pertanto, il risultato di una semplificazione e una riduzione della complessità del reale e tale riduzione è il frutto di una scelta razionale che, in base a dei pre-giudizi, seleziona gli elementi da prendere in considerazione rispetto al continuo; pertanto il modello non potrà mai coincidere con il reale, semmai può solo approssimarlo o "imitarlo", nell'accezione più ampia del termine "mimesis".

A proposito di rilievo, si è osservato che *"Se lo sforzo è quello di modellare una realtà complessa, alla luce del significato di modello, la connessione tra rilievo, rappresentazione ed utilizzo per il restauro non può essere deterministica.*

Il modello non va confuso ne sostituito con il reale.

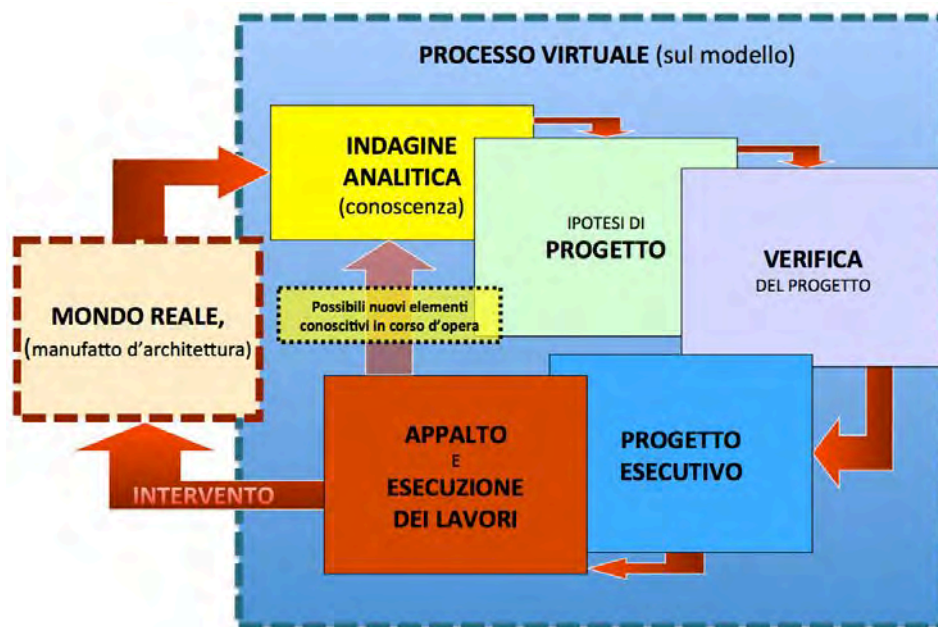
Il paradosso sta nel fatto che quando la realtà non approssima abbastanza bene il modello, questa viene restaurata re-staurando il modello.[...]

*[...]Il paradosso sta nell'aver scambiato il modello (il cui ambito è teorico) con la realtà (il cui ambito è la pratica)."*⁴⁵

In sostanza, quindi, ci troviamo di fronte ad un paradosso ben preciso dai risvolti certamente operativi che, per nostra comodità, potremmo

⁴⁵ Raffaella Brumana, *Rilievo e restauro*, in Tema 3-4, 1996

Ne deriva l'importanza fondamentale del controllo del processo di conoscenza al fine di un corretto intervento sull'oggetto reale.



Per attuare la conoscenza, quindi, l'uomo ha bisogno di costruire ipotesi o modelli razionali aprioristici da falsificare attraverso i dati empirici, dati che però vengono raccolti (ed è qui il paradosso) sulla base di quegli stessi modelli razionali pre-figurati.

Affinché possano essere elaborate tali “congetture”, deve quindi pre-esistere un bagaglio di conoscenze che permette al soggetto conoscente di “ri-conoscere” nella realtà che ha davanti, anche se ignota, elementi già noti su cui elaborare collegamenti e rimandi e costruire modelli anticipativi su cui, poi, operare verifiche ed estrarre informazioni.

Il vedere, il percepire attraverso l'esperienza sensibile non è dunque neutrale, la realtà viene percepita da subito attraverso filtri di ordine culturale che ne elaborano l'immagine, esiste sempre, insomma, esattamente quel vedere “intenzionale e direzionato” di cui parlava Schopenhauer.

Abbiamo, anche ampiamente descritto che tipo di realtà complessa è quel concetto articolato di forma architettonica con cui dobbiamo confrontarci.

La forma contiene aspetti materiali, tangibili, “flagranti” per così dire ma anche e soprattutto aspetti immateriali e intangibili e “astanti”, per proseguire con la terminologia brandiana, la cui rappresentazione non è certamente immediata.

Il confronto con la realtà della forma, allora, si baserà, da un lato sull'esperienza sensibile su ciò che è percepibile ai sensi, ma siamo ben consapevoli che quello che i nostri sensi e il nostro intelletto riescono a cogliere non è che solo un piccolissimo aspetto da considerare.

Gran parte degli aspetti da indagare nella realtà, dunque, si trovano nel territorio “dell'invisibile”.

L'invisibile ha un duplice aspetto: può essere ciò che fisicamente è nascosto ai sensi (perché trascende le nostre capacità sensibili); oppure può essere ciò che è invisibile all'intelletto, ciò che non riusciamo a ri-conoscere, nella realtà che abbiamo di fronte perché imprevisto e ignoto, nonostante sia proprio lì davanti ai nostri occhi perché *“Davanti all'inatteso e all'imprevisto i nostri occhi sono ciechi ... non ci sono cose come percezioni o dati di senso che non siano costruiti su delle teorie (o su delle aspettative, che sono i predecessori biologici delle teorie*

*formulate linguisticamente). I dati, pertanto, non sono la base delle teorie, ne garantiscono per le teorie”*⁴⁶

Si configura, allora, un altro fondamentale nodo critico che pone un serio problema metodologico e comporta molte implicazioni operative, per ciò che concerne il restauro e la conservazione, che in analogia a quanto fatto in precedenza, potremmo chiamare *“il secondo problema del modello”* e cioè: se la conoscenza si attua attraverso modelli razionali pre-figurati, questi non possono in alcun modo contenere ciò che non è né percepito, né previsto da chi costruisce il modello, pertanto le *“aspettazioni”* che noi formuliamo dovranno essere falsificate indagando anche e soprattutto il campo *“dell’invisibile”*.

E’ proprio in ciò che non riusciamo a cogliere, infatti, che si trova il vero oggetto del conoscere e del ricercare, o, meglio, è nel cogliere e nel riconnettere ciò che ancora non vediamo e non ri-conosciamo che si trova la vera portata dell’indagine conoscitiva, che, dunque, va condotta principalmente nel territorio *“dell’invisibile”*.

E’ in tale territorio, nella sua duplice accezione, che si troveranno, allora, quelle informazioni non ancora note e soprattutto quei valori, materiali e immateriali, che è compito del restauro conservare e portare alla luce della conoscenza.

Occorre allora definire in qualche modo l’invisibile e chiedersi se il visibile e l’invisibile siano due categorie separate o non piuttosto due aspetti diversi della stessa realtà.

Prendendo spunto da alcune riflessioni di *W. Benjamin*, si potrebbe declinare l’invisibile come il *“luogo della disattenzione”*, ovvero non un qualcosa che appartiene a un mondo disgiunto da ciò che si vede, separato per il solo fatto di non essere visibile attraverso lo sguardo nudo, bensì un qualcosa che esiste insieme al visibile, anzi che lo sostiene e lo fa esistere ma su cui l’attenzione non si può soffermare direttamente se non attraverso un filtro specifico che può essere di ordine strumentale o di ordine intellettuale e culturale.

⁴⁶ K.R. Popper, *“Epistemologia senza soggetto conoscente”* in *“Epistemologia, razionalità e libertà”*, Roma 1972, p.55

Affinché l'invisibile diventi visibile questo filtro non deve fare altro che spostare su di esso la luce dell'attenzione.

*“L'indagine non risiede nel riferire il visibile a se stesso, incaricando uno dei suoi elementi di rappresentare gli altri; classificare sarà, attraverso un movimento che fa ruotare l'analisi su se stessa, riferire il visibile all'invisibile, come alla sua ragione profonda, per poi risalire da questa architettura segreta verso i segni manifesti che ne sono offerti alla superficie dei corpi”.*⁴⁷

L'invisibilità, dunque, non è altro che l'aspetto “non ancora noto” del visibile, che spesso lo sostanzia e lo spiega; ma l'invisibilità è anche una condizione temporanea che permane fino a quando non interviene un evento o un filtro in grado di portarlo alla luce.

Pensiamo, ad esempio, all'evento traumatico di un crollo, in grado di ribaltare in un attimo le relazioni di visibilità tra gli elementi di un'architettura, mostrando alla vista gli apparecchi murari al loro interno e le membrature strutturali fino a quel momento rimaste celate.

Con minore evidenza possiamo pensare che si possa ottenere lo stesso risultato con adeguati strumenti scientifici e culturali in maniera non invasiva conducendo un'indagine con criteri rigorosi e integrati e con tutti i mezzi che oggi la tecnologia mette a disposizione, e con questo “... si intende ribadire quanto già altrove decisamente enunciato, vale a dire il ruolo insopprimibilmente conoscitivo, dal di dentro, del restauro, certamente almeno rispetto a storiografie purovisibiliste e comunque estrinseche.” Il restauro, infatti, rappresenta un'occasione preziosa di conoscenza se si assume “... un'ottica storiografica circa il monumento, ove questo sia per davvero non il pretesto, ma il protagonista primo ed assoluto dell'indagine. Il protagonista che bisogna però porsi in grado di interrogare efficacemente, accuratamente, sistematicamente e dai vari, i più diversi, ma convergenti, punti di vista”.

⁴⁷ M.Foucault, *Le parole e le cose*, Milano 1967, p.248

⁴⁸ P. Fancelli, *L'entità veritativa dello stato di fatto monumentale*, in ANAGKH n.19, 1997

Il restauro, in questo senso, non è più soltanto l'esito del conoscere ma anche esso stesso processo di conoscenza.

Non è forse compito del restauratore di capire nel profondo una fabbrica, fare egli stesso da filtro tra il momento della connotazione e quello operativo al fine di portare nel luogo dell'attenzione ciò che ha valore e per vari motivi è rimasto invisibile fino a quel dato momento?

Per assolvere a questo delicato compito egli deve recepire, attraverso gli strumenti che ha a disposizione, tutte le "conoscenze parziali" frammentarie e settoriali, che contribuiscono al momento connotativo e sintetizzarle in un unico percorso di conoscenza che sfoci in un intervento coerente e rispondente a tutte le istanze in gioco.

La necessità di avvalersi di saperi specifici ed ambiti disciplinari diversi nasce ancora una volta da quel vedere "intenzionale e direzionato", cioè da quella necessità di procedere per congetture e modelli anticipativi che, abbiamo visto, presuppongono l'esistenza di un bagaglio di conoscenze pre-esistente che permette di "ri-conoscere", nella realtà, elementi già noti, senza i quali non è possibile costruire modelli sufficientemente attendibili con cui interrogare la realtà stessa.

Questo rende necessario il contributo di saperi diversi specializzati in grado di "saper vedere" e saper costruire modelli sempre più sofisticati attraverso cui ottenere informazioni e "interpretazioni" parziali e specialistiche altrimenti difficilmente ottenibili.

Necessità, questa, oggi quanto mai pressante per l'estrema specializzazione e l'estrema complessità dei problemi a cui si vuol dare risposta.

Ma questo recepire conoscenze provenienti dai più diversi ambiti disciplinari, non può essere inteso passivamente come un semplice raccolta di contributi eterogenei, l'architetto restauratore, incarnando egli stesso l'istanza conservativa, cioè quella "intenzionalità utilizzatrice" che deve informare tutto il progetto di conoscenza, dovrà orientare ogni singolo apporto disciplinare in modo tale che ogni specifico interrogare la fabbrica risulti congruente con tale finalità fornendo risposte principalmente alle "giuste domande" del restauratore e,

secondariamente, alle “giuste domande” dello specialista, se ciò vuol dire apportare nuovi elementi di conoscenza utili all’istanza conservativa.

Il luogo dove si attua questo complesso dialogo, è, dunque, quello che comunemente viene chiamato “il rilievo dello stato di fatto”, inteso, non soltanto come rilievo geometrico-dimensionale, bensì come forma allargata d’indagine comprendente sia il campo del visibile che dell’invisibile, cioè ogni aspetto materiale ed immateriale del manufatto.

Lo stato di fatto, come inteso nella odierna metodologia del restauro, è dunque un complesso Sistema Informativo, in cui convergono non solo tutti i contributi disciplinari coinvolti, sotto forma sia di “livelli di informazione” che di “livelli interpretativi”, ma anche di connessioni e collegamenti tra i vari livelli sia in senso sincronico che diacronico, il cui insieme costituisce “la Conoscenza” ovvero l’ermeneusi globale dell’oggetto architettonico che condurrà il restauratore al progetto conservativo.

Lo stato di fatto, così inteso, rappresenta “(...) *Un’attestazione probante, insostituibile, eloquente e, soprattutto, circostanziata non soltanto sui modi in cui è stata effettivamente realizzata e, poi, eventualmente modificata la fabbrica, non solo sulle mutazioni intervenute su di essa per cause esterne, bensì pure circa come questa fabbrica è stata riguardata, interpretata e, particolarmente, vissuta in concreto nel tempo.*”⁴⁹

Occorre, infatti, sottolineare che lo stato di fatto rappresenta una condizione temporanea irripetibile relativa al momento in cui viene effettuata l’indagine e che pertanto l’indagine stessa, se condotta in modo approfondito assume per se stessa un valore di documento, testimonianza preziosa di un momento preciso dell’oggetto nel tempo, nel susseguirsi delle sue trasformazioni passate e future. Allo stesso tempo la rappresentazione grafica di tale indagine e delle sue conclusioni progettuali una testimonianza documentaria “circa l’interpretazione che,

⁴⁹ P. Fancelli, *L’entità veritativa dello stato di fatto monumentale*, in ANAFKH n.19, 1997

*in quello stesso istante, si è fornita sulla condizione del monumento in esame”.*⁵⁰

Il fattore temporale assume aspetti molto particolari anche quando si considera le relazioni tra il visibile e l'invisibile e appunto il tempo.

Nel momento in cui un bene architettonico viene prodotto in un dato tempo storico, esso è il risultato di un'operazione culturale in cui viene attuato un voluto e necessario restringimento del campo del visibile al fine di porre alla vista soltanto determinati elementi formali, significativi per la cultura che ha prodotto quel bene. Al contempo, però, sono realizzati e progettati altri elementi destinati ad essere relegati nel “luogo della disattenzione” in quanto assolvono ad un necessario ruolo secondario e funzionale rispetto all'immagine visibile voluta. Ma già in questa fase potremmo osservare che l'immagine visibile stessa è in realtà condizionata da ciò che è celato o invisibile, poiché da un lato vi sono le caratteristiche fisiche e i limiti tecnici e tecnologici degli elementi chiamati a realizzarla, e dall'altro le istanze sociali, culturali, estetiche e psicologiche sottese in essa, che sostanziano il contenuto che quella immagine tenta di estrinsecare e sintetizzare. In questo senso, l'invisibile non soltanto condiziona il visibile ma spesso ne rappresenta l'essenza stessa.

S'intravede quindi l'esistenza di una gerarchia di valori ben precisa, significativa inizialmente per la cultura che ha prodotto il bene e che viene sottolineata dalla condizione di visibilità/invisibilità.

Gerarchia che può subire dei mutamenti nel tempo parallelamente al mutamento delle istanze estetiche e culturali in cui quel bene è immerso nel succedersi del tempo.

Questo mutamento spesso si concretizza in vere e proprie trasformazioni fisiche attraverso adattamenti ed adeguamenti vari che modificano non soltanto l'immagine visibile ma anche ciò che non lo è. In questa trasformazione può succedere che ciò che prima era destinato ad essere visto diventi invisibile e viceversa, si pensi ad esempio agli archi a sesto acuto di alcune architetture gotiche napoletane nascosti in epoca barocca

⁵⁰ Ivi

dal rivestimento in marmo o sotto finti archi a tutto sesto, oppure si pensi a certi interventi di restauro che intervengono nel mettere in mostra particolari apparecchi murari o rare soluzioni strutturali trovando questi elementi particolarmente interessanti e significativi (come ad esempio l'orditura di un solaio fino a quel momento nascosto da una controsoffittatura), di fatto ribaltando la gerarchia che governava in origine il rapporto visibile/invisibile del monumento.

Se il visibile e l'invisibile sono dunque in stretta relazione e rappresentano spesso condizioni temporanee si può riguardare sotto questa luce anche determinate scelte operative e teoriche del restauro odierno, certe filosofie d'intervento, soprattutto in relazione al tanto discusso dissidio tra materia ed immagine (crf. G. Carbonara), tra struttura e superficie, tra conservazione della materia originale e ripristino, spesso prendendo pretestuosamente spunto dalla distinzione Brandiana fra materia come "supporto" e materia come "aspetto" che, sancendo un duplice statuto tra le due cose, ha fornito il pretesto culturale per certi interventi spregiudicati concentrati sulla struttura interna (poiché invisibile) o sulla superficie visibile, dimenticando che tra le due cose non vi è, di fatto, soluzione di continuità per quanto riguarda l'esistenza di valori da conservare.

Ricordiamo a questo proposito il conflitto ideologico tra il conservare a tutti i costi la materia originale e la pratica di modificare lo schema statico strutturale delle fabbriche al loro interno attraverso sempre più sofisticate tecniche di intervento con l'intento di eliminare antiestetiche strutture di contenimento esterne, finendo però col modificare ed alterare il delicato equilibrio tra ciò che si vede e ciò che non si vede. Equilibrio alterato i cui esiti alla fine si percepiscono ugualmente attraverso gli strumenti culturali dell'attenzione.

Ecco che le tecnologie innovative, fornendo strumenti sempre più sofisticati all'architetto restauratore per scrutare nei "luoghi della disattenzione" e portare in evidenza in modo non invasivo ciò che altrimenti non può essere visto, di fatto entrano a pieno titolo nel dibattito attuale sugli aspetti più teorici della disciplina del restauro influenzando

non soltanto le fasi operative ma anche le scelte che sono alla base delle varie filosofie di intervento.

Si analizzerà in seguito, più in dettaglio, gli elementi che compongono il Sistema Informativo che sta alla base del processo di conoscenza per il restauro dell'architettura cercando di individuare per ognuno di essi, il ruolo all'interno del sistema, le relazioni tra di essi e le ricadute che l'innovazione tecnologica sta apportando all'interno del sistema.

2.2 Rilevare e rivelare una forma.

Spesso si è dibattuto in letteratura se esista o meno un “rilievo per il restauro” o più in generale se sia corretto parlare di un rilievo funzionale o speciale in base alla finalità utilizzatrice che lo sollecita.

Nella prima metà del '900, in alcune scuole di restauro italiane, come quella romana, ad esempio, si è sostanziata, per anni, l'idea dell'esistenza di “varianti parziali” di tipo funzionale del rilievo e cioè un rilievo per il restauro, uno per la progettazione, un altro per l'urbanistica e così via.

In questa idea il rilievo per il restauro è stato inteso, ad esempio, come una sorta di strumento critico al servizio dell'indagine storica, esso stesso fondato sulla storia, avente come tratto distintivo quello di mettere in evidenza la grammatica architettonica quale strumento di datazione di fasi costruttive e caratteristiche tipologiche spesso finalizzato alla costruzione di un repertorio lessicale da riutilizzare nel progetto di restauro.¹

Gli orientamenti più attuali, invece, hanno rivendicato a gran voce (soprattutto da parte dei rilevatori) un'autonomia scientifica e disciplinare evidente, tanto che da più parti si è spesso osservato che non può essere corretto parlare di “rilievo per qualcosa” e, per estensione, di rilievo per il restauro.

Se si accetta concettualmente l'esistenza di un Rilievo “finalizzato”, infatti, si assumerebbe l'idea che in base all'utilizzo strumentale che si può fare di tale disciplina, gli esiti del suo operare sarebbero diversi in funzione dello scopo per cui è utilizzata e questo appare quantomeno improprio se si considera il rilievo metrico una disciplina scientifica autonoma con regole e finalità specifiche.

Come osserva Paolo Treccani collegandosi ad un precedente dibattito sulla rivista TeMa (3/1995) e ad alcune osservazioni di B.P. Torsello:

¹ G.Simoncini, *Gustavo Giovannoni e la Scuola superiore di Architettura di Roma (1920-1935)*

“... un rilievo “finalizzato” in cui emerga, cioè, l’istanza di un “conoscere per conservare” costituisce solo un approccio parziale al problema della conoscenza del manufatto e non può che collocarsi in modo improprio all’interno del pensiero critico contemporaneo. Si tratterebbe insomma di assumere come esaustivo un approccio che esaustivo non è, ovvero un modo speculare, ma allo stesso tempo legato da un rapporto inscindibile, al “conservare per conoscere” quale esito di un’indagine cognitiva condotta sul manufatto con finalità puramente gnoseologiche

(...) Il significato del rilievo non si esaurisce dunque nella sua utilità operativa ma investe il momento della conoscenza quale atto propedeutico alla conservazione, della documentazione che sarà il più possibile fedele dello stato di fatto, ma anche quello insostituibile, va aggiunto, della certificazione dell’intervento conservativo.”²

Anche Carlo Monti in alcuni recenti contributi ha rivendicato un’autonomia scientifica innegabile al rilievo, ma contemporaneamente ne ha delineato i confini poiché, se tale disciplina può essere considerata un percorso conoscitivo autonomo, tuttavia tale percorso non è possibile considerarlo esaustivo e pertanto si deve confrontare con altrettanti percorsi disciplinari autonomi che concorrono al momento connotativo del restauro.

“La disciplina (il rilievo), con le sue relazioni e i suoi protagonisti, trascende lo scopo specifico, anche se le sue applicazioni sono generalmente specifiche e particolari. Essa ha una sua logica interna basata su regole, coerenze, procedure che si esplicano in una finalità: “la conoscenza metrica”. Se le motivazioni sono intrinseche alla disciplina stessa, gli sbocchi sono esterni e coinvolgono necessariamente altre competenze o, più propriamente altre discipline.”³

Insomma se la disciplina del rilievo, o meglio, come acutamente la definisce Carlo Monti, *“la Conoscenza Metrica dell’Architettura”* gode di una sua autonomia tanto da ritenere assolutamente legittimo un rilievo “senza scopo” escludendo ogni possibile finalizzazione ideologica di un

² Gian Paolo Trecani, *Presentazione*, in tema, 3-4, 1996

³ Carlo Monti, *Per una conoscenza metrica dell’Architettura*, in tema, 3-4, 1996

rilievo per il restauro, tuttavia, negare qualunque finalità operativa al rilievo vuol dire limitare proprio la sua portata gnoseologica, se si intende per finalità proprio quella "intenzionalità utilizzatrice" che abbiamo visto orienta e direziona il progetto di conoscenza.

Forse, allora, l'equivoco di base è nel confondere e sovrapporre il rilievo come "conoscenza metrica", disciplina scientifica autonoma con i suoi strumenti e la propria finalità, e la "conoscenza metrica" del rilievo come contributo specialistico all'interno di un più ampio percorso di conoscenza finalizzato alla conservazione.

Se l'oggetto del conoscere è, infatti, quella "Forma" in precedenza definita come *"l'insieme dei parametri estetici, statici, tecnici, storici di un oggetto architettonico che ne legittimano l'appartenenza al campo dell'architettura"*⁴, oggetto della conservazione e del restauro, appare chiaro come la Conoscenza Metrica dell'Architettura non può che rappresentare uno dei tanti indispensabili strumenti d'indagine che contribuiscono, con il proprio apporto specialistico, all'intero processo di conoscenza.

Sotto questa luce perde di senso, dunque, chiedersi se esiste un rilievo per il restauro, semmai ha più senso interrogarsi sul ruolo che esso ha nella fase connotativa che conduce alla conoscenza della "Forma" ai fini della sua conservazione.

Il rilievo, infatti, rispetto agli altri contributi disciplinari, possiede delle specificità che è opportuno analizzare approfonditamente poiché il suo apporto, oggi, risulta centrale in tutto il processo di conoscenza, ruolo centrale che le nuove acquisizioni tecnologiche stanno sempre più rafforzando e modificando.

Il rilievo, infatti, oltre ad essere processo di Conoscenza (spaziale, dimensionale, morfologica ecc.) è anche *"insieme critico e documentario di elaborati che a loro volta costituiscono il luogo stesso dell'elaborazione progettuale, divenendo la sede specifica e l'esito del dialogo tra rilevatore e restauratore"*⁵

⁴ Vittorio Ugo, Rilievo e produzione, in Tema 3-4, 1996

⁵ Ivi

In altre parole il rilievo, come “insieme critico e documentario di elaborati” è anche luogo dove convergono e si confrontano tutti gli altri apporti specialistici e i saperi che contribuiscono alla conoscenza dell'oggetto ai fini della sua conservazione, e, di conseguenza, il luogo dove si elabora e prende forma il progetto stesso di conservazione e di restauro.

L'idea più attuale di rilievo, dunque, considera la Conoscenza Metrica soprattutto come una solida base topologica sulla quale costruire e referenziare il complesso sistema informativo formato dall'insieme dei contributi eterogenei che partecipano al momento della connotazione del manufatto.

Si è osservato che *“Il concetto di Carta tematica, è bene ricordarlo, è legato alla specificità del prodotto geometrico topologico dei rilievi, che consente di costruire un'ossatura, un telaio, all'interno del quale inserire informazioni che provengono dai settori disciplinari impegnati nel processo conservativo e che coinvolgono aspetti tematici dell'architettura: la trasposizione del quadro fessurativo, delle deformazioni, delle deformazioni plano altimetriche; o ancora, le codifica dell'analisi materica, del degrado delle forme prima sintetizzate, la localizzazione degli interventi, fino alla referenziazione di variazioni avvenute nel tempo, della documentazione storico-iconografica o fotografica. La ottimizzazione della consultabilità di archivi complessi, la necessità di interrogare questi archivi, la strutturazione organica di banche dati di differente natura, la possibilità di svolgere funzioni e operazioni, costituiscono oggi un'esigenza ineludibile cui la definizione di Sistema Informativo tenta di dare in parte risposta, come organico approccio al problema della gestione integrata dei dati.*

L'obiettivo dunque è di consentire una lettura all'interno delle categorie omogenee delle grandezze selezionate, delle singole tematiche e delle variazioni dei fenomeni nel tempo, tanto come comparazione simultanea di archivi differenti e di fenomeni letti trasversalmente, in successione orizzontale, quanto in successione verticale.

E' necessario offrire cioè una possibilità di lettura sincronica e diacronica grazie alla quale diviene possibile una progettazione in chiave dinamica degli interventi".⁶

Questo ruolo di "telaio" o base topologica su cui, attraverso studi tematici e letture specialistiche, si costruisce il complesso sistema informativo su cui si basano sia il percorso di conoscenza che le scelte di progetto, pone a questo punto nuovi e importanti interrogativi che riguardano dal di dentro il "come" il rilievo deve essere oggi affrontato ed effettuato.

Appare evidente, infatti, sotto questa luce, come oggi si chiedano al rilievo requisiti e standard qualitativi molto diversi che in passato, requisiti che vanno analizzati attentamente per capire a quali istanze le nuove tecniche di misurazione cercano di dare risposta.

"La disponibilità di forme di dati differenti, apparentemente fra loro non commensurabili, richiede anche lo studio di modelli di descrizione sempre più complessi dei fenomeni, che arrivano alla strutturazione di Sistemi informativi, in cui la costruzione e l'individuazione di livelli logici di relazione tra i dati costituiscono un supporto indispensabile al progetto di conservazione. è un luogo, quello della relazionabilità dei dati, dove si incontrano due termini in apparente contraddizione: complessità del reale ed esigenza di semplicità per una comprensione finalizzata all'intervento.

La considerazione della matericità dell'edificio, della sua unicità, fa sì che al rilievo si chiedano sintesi non predefinite, e ciò sposta l'attenzione su un'analisi molto dettagliata che da un lato investe il problema della conservazione del patrimonio costruito nella sua generalità, mentre dall'altro si fa carico del mantenimento di tutti quegli elementi tradizionalmente ritenuti sostituibili, quali finiture, serramenti, intonaci, superfici di rivestimento, materiali e tecnologie costruttive genericamente aggettivati come "poveri" e "ir-rilevanti". Da qui la necessità di nuove metodologie di rilievo".⁷

⁶ Raffaella Brumana, *Rilievo e restauro*, in Tema 3-4, 1996

⁷ Ivi

Prima di addentrarci nell'analisi di queste nuove metodologie occorre, a questo punto, fare un passo indietro nel discorso.

Più precisamente è opportuno ritornare ai termini sui quali si basa l'azione del rilievo inteso come interpretazione del reale, secondo l'abusata metatesi del rilevare/rivelare, al fine di capire come le nuove tecnologie e metodologie possano oggi offrire un punto d'incontro tra l'ineliminabile e fondamentale portata ermeneutica, soggettiva, del rilievo e la sempre più pressante domanda di oggettività o "verità" dell'informazione che scaturisce dal rilievo stesso, sulla quale, abbiamo visto, è indispensabile costruire l'ossatura dell'intero Sistema Informativo; è proprio nel temperare questa duplice istanza, infatti, che risiede il punto nodale di tutto il discorso.

Il problema della misura e di come viene effettuata è centrale nel processo di conoscenza del rilievo, soprattutto se la Conoscenza Metrica, che su di essa si basa, deve a sua volta essere considerata l'ossatura su cui si relazionano le altre "conoscenze" del Sistema Informativo.

Come abbiamo osservato nel paragrafo precedente il rilievo, in quanto disciplina scientifica e processo di conoscenza che si confronta col mondo reale, non può relazionarsi con l'oggetto di indagine (il continuo materiale) se non attraverso pre-giudizi intrinseci di ordine razionale e culturale, cioè attraverso modelli razionali predeterminati che scompongono la complessità in parti più elementari al fine di raccogliere i dati che si ritengono significativi, modelli che poi vengono confutati, falsificati o confermati di volta in volta dagli stessi dati raccolti (secondo quanto delineato da Karl Popper).

Ciò significa che i dati ottenuti dall'operazione mensoria del rilievo, effettuata attraverso un campionamento puntuale e diretto dell'oggetto reale, in realtà non descrivono la realtà ma descrivono un modello prefigurato e razionale dell'oggetto che è già interpretazione ancor prima di essere misurato.

(...) I termini della discussione riguardano il modello ed i numeri, le misure. Il modello che noi, in questo caso abbiamo come base, è quello della continuità geometrica che è il primo modello famoso della realtà. Invece i numeri, che si ottengono dalla operazione di misurazione, non

*quadrano con la continuità. Allora costringiamo I numeri ad essere continui, cerchiamo di fare un modello che è basato sulla non-continuità, centrato su un dato che viene dall'analisi del mondo reale. Dietro alla domanda "perchè usiamo la continuità?", si pone il problema che la misura deriva dal modello che scegliamo per rappresentare la misura stessa. Da questo deriva che la misura non ha valore assoluto, perchè deriva dal modello: il modello influenza il metodo di misura"*⁸

In altre parole, per poter "misurare" e descrivere l'oggetto architettonico, il rilevatore è costretto a prefigurare un modello geometrico quanto più aderente possibile all'oggetto reale e in base a tale modello razionale decidere i punti notevoli da campionare e misurare per poter poi geometricamente riprodurre il modello misurato, così come prefigurato.

Naturalmente nell'operazione di riproduzione e rappresentazione del modello (momento epistemologico di verifica e falsificazione) il rilevatore può accorgersi di eventuali incongruenze e può decidere eventualmente di riconfrontarsi col reale riadattando ad esso un nuovo modello più aderente, oppure può accorgersi che il campionamento effettuato non è sufficientemente denso d'informazioni da descrivere la geometria reale dell'oggetto alla scala e per gli scopi che si è prefissato.

"(...) Per rappresentare I numeri noi usiamo sempre un modello che è quello della continuità, perchè è più semplice dei modelli non continui, discreti. Il modello interviene sia prima che dopo. La misurazione approssima il modello fino ad un certo livello: quanto più si vuol tenere conto della variazione delle dimensioni, quanto più questo influisce sulla modifica del modello e sull'aggiornamento delle modifiche dovute agli effetti della deformazione, fino a descrivere il mondo esterno in maniera consona alle esigenze. Volendo concretizzare quanto detto, ad esempio, misurare il diametro di una colonna sottintende il modello di un cilindro perfetto, per il quale il diametro è unico; se poi volessi spingere la precisione oltre un certo limite, il modello andrebbe in crisi e dovrei introdurre un altro modello. Per l'incertezza del misurando si affina il

⁸ Atti della XI giornata della misurazione, Centro di cultura Scientifica A.Volta di Villa Olmo a Como.

modello e l'operazione di misura rispetto ad un modello più sofisticato
...⁹

In questo processo di confronto razionale col reale attraverso modelli, “falsificati” di volta in volta, il rilevatore costruisce un percorso epistemologico che è fondamentalmente un percorso prima di tutto “interpretativo” del reale, che si basa sul riconoscimento di primitive e di geometrie, anche se non euclidee, fatto ancor prima di eseguire l'estrazione dei dati.

In ciò, naturalmente, è facilitato dalla natura stessa dell'oggetto architettonico, pensato già in origine, nella maggior parte dei casi, come oggetto “geometrico”, essendo un legame imprescindibile, quello tra architettura e geometria, che si rinnova continuamente nell'atto progettuale.

Spesso in passato il rilievo metrico dell'architettura si è esaurito, allora, nel riconoscimento e nella rappresentazione misurata di geometrie generatrici “ideali”, dando origine a ricostruzioni interpretative più che a riproduzioni della configurazione reale.

Ma come abbiamo visto la volontà di conoscenza della “Forma” architettonica e le esigenze della conservazione rendono necessario il considerare l'oggetto architettonico non più soltanto nei suoi aspetti “ideali” e razionali, ma soprattutto nei suoi aspetti materici, qualitativi (oltre che quantitativi), con tutte le irregolarità, il mondo delle geometrie impresse dal tempo e dalla natura, tracciato dalle condizioni ambientali, dai segni e dalle deformazioni causati dal degrado e dal dissesto.

Di fronte a questa esigenza, il misurare la realtà attraverso modelli razionali pre-figurati appare una vera e propria contraddizione in termini poiché non è possibile pre-figurare una realtà irregolare, irrazionale ed entropica attraverso un modello razionale.

“rilievo e rappresentazione si muovono all'interno di due paradossi: dover modellare l'irregolare di una fisicità degradata – cosa che è apparentemente in contraddizione con il termine modellazione – e rappresentare la materia attraverso le immagini, saldando la dimensione

⁹ Ivi

spazio-temporale della descrizione al contenuto virtuale inconsistente dell'immagine, e l'immagine alla geometria e al suo insostituibile veicolo materico".¹⁰

Oltre al significato epistemologico del termine modello, è anche l'impossibilità di misurare il tutto a costituire un limite alla volontà di riappropriazione dell'oggetto per il tramite della rappresentazione ed un limite alla presunzione di poterlo sostituire ad essa.

Ma ci sono anche altri aspetti di notevole importanza da mettere in evidenza e che riguardano in primis la relazione tra soggetto conoscente e oggetto nel rilevamento:

"Il primo carattere costitutivo dell'architettura è l'insieme delle forme geometriche visibili, misurabili alle diverse scale architettoniche comprese tra gli ambiti cartografici e le indagini fisico-chimiche di laboratorio: da qui muove l'analisi del rilievo.

(...) Il sistema intellettuale elabora l'esperienza diretta dell'oggetto a partire da un'immagine che però è subito superata dalla volontà di "vedere" in qualche modo la materialità fisica. Nella stessa redazione degli schizzi di campagna la percezione soggettiva si traduce automaticamente in interpretazione, che attribuisce all'oggetto una forma e una struttura fisiche isolandone caratteristiche e proprietà.

*Non esiste la possibilità di una ricezione ottica neutrale, a meno della semplice registrazione tramite telecamera o macchina fotografica: s'impone sempre quell'atto del "vedere intenzionale e direzionato di cui parla Schopenhauer."*¹¹

Ciò, se da una parte conduce inevitabilmente al significato ermeneutico del rilevare/rivelare e del misurare, dall'altra parte evidenzia una sorta di "vizio" intrinseco del misurare, che si lega immediatamente alla soggettività di chi l'esegue. Se ciò che si misura non è la realtà direttamente ma un modello razionale pre-figurato, tale modello, in quanto interpretativo, da un lato evidenzierà certi aspetti, dall'altro ne trascurerà altri.

¹⁰ Raffaella Brumana, *Rilievo e restauro*, in Tema 3-4, 1996

¹¹ Giovanna Massari, *Rilievo come conoscenza. Una forma di "Sim-patia" tra opera e interprete*, in Tema 3-4, 1996

E' evidente che quando tale modello è chiamato a costituire l'ossatura di un sistema informativo in cui devono convergere i diversi saperi che contribuiscono alla conoscenza del manufatto, è molto probabile che molti degli aspetti che si trascurano potrebbero costituire fatti sostanziali in altri ambiti disciplinari che contribuiscono all'indagine e quindi rischiare non venir presi in considerazione nel percorso di conoscenza a meno di non ritornare continuamente al manufatto ripetendo misure e ricostruendo modelli metrici alternativi per ogni indagine conoscitiva effettuata.

Si presenta allora un problema relativo non tanto alla portata ermeneutica del rilievo (che abbiamo visto è sempre presente), semmai relativo alla "rispondenza al vero del modello prodotto dal rilievo e di come sia possibile perseguire una "verità" nella trasmissione dei dati".

Il concetto di "Verità", per il mondo greco, era legato al "trarre fuori" da un nascondimento alla vista e al ricordo. La verità, in greco ἀλεθεία, alethèia, la cui etimologia, come ha messo in luce Heidegger, significa «non nascondimento», in quanto composta da alfa privativo (α-) più λέθος, lèthos, vuol dire propriamente eliminazione dell'oscuramento, ovvero disvelamento.

La verità, nel mondo greco, infatti era quindi intesa non come una semplice realtà di fatto, ma come un atto dinamico, mai concluso, attraverso cui avviene la confutazione dell'errore e il riconoscimento del falso: non un pensiero statico e definito una volta per tutte, bensì movimento di rivelazione, rivelazione dell'essere, ciò che veramente è.

La verità, nel rilievo, allora la possiamo intendere in due modi, ovvero da un lato come "disvelamento", come processo ermeneutico aperto, continuamente in fieri, teso a riportare alla luce le componenti fondamentali, quei legami e sintassi impliciti o espliciti rimandando contestualmente ai molteplici significati dell'opera che rimangono latenti.

"La verità dell'indagine risiede nel suo essere un monumento prodotto dal la-voro del rilevatore, confrontabile con altri rilievi, con l'architettura stessa, con la storia; un monumento che rende possibili solo verità parziali, in quanto il perseguimento di un rilevamento

“totale” rimane illusorio e che comunica meno del reale ma anche più del reale, fornendo letture tematiche di dati molteplici.”¹² o ancora:

“Rendere l’invisibile, il non immediatamente visibile, il non evidente: questo appare l’esito più interessante del rilievo, la sua portata analitica ed ermeneutica”¹³

Dall’altro la verità nel rilievo la potremmo intendere come la “verità della misura” o in senso ideale come “oggettività del dato metrico”, oggettività che appare come un obiettivo illusorio se il dato metrico scaturisce, come abbiamo visto, da modelli pre-figurati intrinsecamente soggettivi.

Tuttavia, ciò che viene richiesto oggi con forza al rilievo è di fornire un patrimonio di elaborati, di misure e di dati che prima ancora di poter essere “interpretato”, possa essere considerato “comune” in tutti gli apporti conoscitivi coinvolti nel processo di conoscenza e, quindi, in minima misura dipendente dall’interpretazione soggettiva di chi effettua il rilievo.

Il rilievo oggi deve quindi portare un duplice contributo: da un lato quello di fornire la “Conoscenza metrica del manufatto” intesa come lo specifico modello interpretativo che scaturisce dal suo apporto specialistico, e dall’altro quello di fornire anche un modello “non interpretativo” misurato, che possa costituire un patrimonio di informazioni e un riferimento topologico all’interno dell’intero Sistema Informativo.

A prima vista questa duplice istanza può sembrare una contraddizione in termini se si assume l’attività mensoria come intrinsecamente dipendente dall’interpretazione, come abbiamo ampiamente analizzato.

La portata più innovativa degli orientamenti attuali, sta, dunque, nel tentativo generalizzato che viene portato avanti da una decina di anni a questa parte, dagli operatori del settore congiuntamente alla ricerca scientifica e alla ricerca tecnologica più avanzata, di separare il momento del “misurare” dal momento dell’interpretazione del dato metrico.

¹² Giovanna Massari, *Rilievo come conoscenza. Una forma di “Sim-patia” tra opera e interprete*, in Tema 3-4, 1996

¹³ Vittorio Ugo, *Rilievo e pro-duzione*, in Tema 3-4, 1996

Un tale obiettivo appare in teoria possibile solo “automatizzando il momento dell’acquisizione della misura” attraverso l’apporto tecnologico, cioè affidando l’operazione del misurare ad una “macchina” che non opera scelte e non costruisce modelli razionali, e che, nonostante operi misure di tipo discreto, le esegue in modo automatico secondo logiche interne, strumentali, indipendenti tanto dall’oggetto che dal soggetto che guida l’operazione, quindi di fatto eliminando gli “a-priori” formali e teorici di natura soggettiva che hanno sempre sovrinteso il rilievo già nella redazione degli schizzi di campagna, quando, cioè, la percezione soggettiva si traduce automaticamente in “interpretazione”.

Diciamo subito, per evitare equivoci, che tale ipotesi è, allo stato attuale, ancora solo teorica, o meglio sperimentale e ampiamente illusoria per i motivi che analizzeremo dettagliatamente più avanti.

Tuttavia, se tale ipotesi fosse pienamente realizzabile, non si avrebbe certo l’effetto di eliminare dal processo il momento fondamentale dell’interpretazione o il significato ermeneutico del rilevare/rivelare, semplicemente lo si sposterebbe ad una fase successiva all’atto dell’acquisizione della misura con l’effetto che la misura stessa non sarebbe più da questo condizionata.

Tale spostamento, seppur minimo, è sostanziale poiché, separando l’atto ermeneutico dall’atto mensorio e lasciando l’interpretazione soggettiva alla elaborazione dei dati e quindi alla rappresentazione/restituzione, si consentirebbe al Sistema Informativo dell’intero processo di conoscenza di riferirsi in qualsiasi istante sia ad un modello interpretativo (la Conoscenza metrica del manufatto), sia ad un patrimonio di dati misurati che costituirebbero un documento “oggettivo” (nei limiti di precisione che consente la macchina e nella misura in cui può essere oggettiva una testimonianza “fotografica”) terreno di infinite possibili ulteriori elaborazioni e verifiche da parte di tutti gli apporti specialistici che contribuiscono al processo conoscitivo.

In tal senso tale patrimonio informativo costituirebbe anche un prezioso documento di valore “storico” in quanto testimonianza “oggettiva” di uno stato di fatto temporalmente definito, confrontabile e sovrapponibile con ulteriori acquisizioni eseguite in momenti successivi o precedenti e dal

cui confronto poter estrarre informazioni differenziali quantitative e qualitative.

Il patrimonio informativo “oggettivo” di cui stiamo parlando, come sappiamo, è la cosiddetta “nuvola di punti”, ottenuta oggi in molteplici modi tecnologicamente e metodologicamente diversi, sia in modo che possiamo oggi già definire “tradizionale” ovvero tramite i Laser scanner, sia attraverso tecnologie ancora più innovative, completamente diverse e notevolmente più economiche che non utilizzano la luce laser come veicolo di informazioni metriche e qualitative; parliamo ad esempio di scanner a luce strutturata, o, come le ultime sperimentazioni fanno intravedere, le cosiddette videocamere “TOF” prese in prestito da tutt'altri ambiti industriali.¹⁴

Tutto il mondo del rilievo metrico e dell'industria ad esso correlata sembra oggi in gran fermento intorno alla produzione di “nuvole di punti”, nel tentativo di utilizzare, sperimentare e produrre macchine e tecniche mensorie automatiche o semi automatiche che tendono in mille modi a “robotizzare” il lavoro di campagna e rendere tale attività rapida, ovvero “speditiva” (come viene oggi spesso definita), economica ed accessibile a tutti.

Non è difficile immaginare, osservando tale trend tecnologico, che in un futuro molto prossimo sarà possibile effettuare complessi rilevamenti metrici con la semplicità e la rapidità di una ripresa video-fotografica ottenendo risultati fino ad oggi impensabili.

Già oggi, con la tecnologia LIDAR terrestre attualmente disponibile (seppur con costi altissimi) è possibile raccogliere dati metrici di interesse edilizio semplicemente montando degli scanner, dei GPS e un sistema inerziale su di un furgoncino.

Di fronte a questa rivoluzione c'è subito da chiedersi se sia il progresso tecnologico e la speculazione industriale a guidarla o se tutto questo nasce da esigenze ben precise di ordine scientifico.

Naturalmente il sospetto è forte e forse la risposta come sempre comprende entrambe, tuttavia ci piace pensare che, sebbene l'una cosa

¹⁴ spec.

influenzi l'altra, sia un'esigenza prima di tutto scientifico-operativa ad aver innescato il fenomeno.

A questo punto, è opportuno affrontare, seppur in modo funzionale, una breve riflessione sul rapporto tra conoscenza e tecnologia.

Ci si chiede, dunque, quali siano i legami che intercorrono tra disciplina scientifica e rispettivo apparato tecnico. E' attraverso gli apparati tecnici, gli strumenti di misura e le rispettive procedure tecniche, che il rilevatore, o più in generale il soggetto conoscente, indaga la realtà traducendo le osservazioni (come vedremo più dettagliatamente) in dati quantitativi.

“(...) una delle possibili risposte inquadra tale legame nell'ottica della scienza sperimentale di Galilei per la quale lo strumento materiale dell'osservazione rappresenta l'esito concreto di una teoria. Galilei infatti non appronta esperimenti dal quale dedurre assunti generali, ma applica la riflessione teorica alla costruzione di strumenti tramite i quali condurre le "sensate esperienze" guidate dalle ipotesi di partenza; è in questo modo che la tecnica rientra pienamente all'interno della speculazione scientifica e che, viceversa, gli apparati concettuali si conservano all'interno delle macchine.”¹⁵

Da Galileo in poi la conoscenza scientifica degli oggetti, infatti, non dipende più dal loro modo d'essere ma dal metodo con cui lo si affronta, gli oggetti della conoscenza devono essere affrontati con gli stessi metodi, indipendentemente dalla loro natura.

Nel mondo greco esisteva la distinzione tra mondo celeste e mondo terrestre per la quale gli oggetti celesti erano incorruttibili, perfetti, per tale natura soltanto per loro si poteva avere scienza (episteme); per gli altri, quelli terrestri, solo opinioni (doxa).

Da tale assunto è derivata fino all'inizio del nostro secolo una sorta di dualità tra i ruoli dello scienziato e dell'ingegnere, l'uno detentore di un sapere "divino", l'altro detentore di più “vili” e umane abilità nell'uso della tecnologia con risvolti applicativi.

¹⁵ Giovanna Massari, Le pratiche di misura, processi e strumenti, in Tema 3-4, 1996

Esempio emblematico di tale atteggiamento è quello di Archimede, il quale, nonostante la sua grande capacità ingegneristica, nonostante avesse inventato macchine rivoluzionarie con risvolti applicativi determinanti per la sua epoca, sorprendentemente si vergognava proprio della sua attività applicativa :

*"... persuaso che l'attività di uno che costruisce macchine, come di qualsiasi altra arte che si rivolge all'utilità immediata, è ignobile e grossolana, rivolse le sue cure più ambiziose soltanto a studi la cui bellezza e astrazione non sono contaminate da esigenze di ordine materiale"*¹⁶

Tale mentalità dura, in pratica, fino alla fine della rivoluzione francese, quando si assiste all'affermarsi di tecnologie utilizzanti la scienza moderna, ad esempio nella creazione di strumenti di guerra. E' qui che gli ingegneri ottengono definitivamente la loro consacrazione: "tutto ciò che è serio deve essere misurabile" e scienza e tecnica procedono di pari passo per il progresso.

Se dunque, per Galileo, i due canoni del metodo scientifico sono: "le sensate esperienze e le necessarie dimostrazioni" e se le necessarie dimostrazioni sono quelle matematiche, per far rientrare in esse le necessarie esperienze, ovvero le osservazioni, queste devono essere espresse in modo da poter essere trattate matematicamente, devono cioè "proporre misure".

*"Posuit Deus omnia in numero, pondere et mensura".*¹⁷

Da Galileo in poi il problema della misura non è dunque più un problema "ontologico" (cioè un'indagine sull'essere in quanto tale, al di là delle sue manifestazioni nelle apparenze e nei fenomeni) ma un problema di "linguaggio", ovvero di quale sia il linguaggio più adatto per meglio soddisfare quello che la tradizione medievale chiamava "l'intentio recta", ovvero quell'atteggiamento conoscitivo attraverso cui si è immediatamente in rapporto con le cose e di conseguenza si è in grado di svelarle nel loro realismo, cioè non per dire che senso hanno ma semplicemente come stanno.

¹⁶ Plutarco, *"Vita di Marcello"*

¹⁷ Galileo, Opere, IV, 52

Rudolf Carnap nella sua opera *Logische Syntax der Sprache* - La sintassi logica del linguaggio (1934), analizza approfonditamente il linguaggio nelle sue varie forme e lo distingue fondamentalmente in tre tipi sulla base dei concetti o dei termini usati: di tipo classificatorio, di tipo comparativo, di tipo quantitativo. Questi tre tipi di linguaggio sono tutti presenti nella conoscenza, la questione principale, dunque, è quella della loro utilità nella scienza.

L'introduzione di concetti quantitativi e di un linguaggio quantitativo nei campi della conoscenza, non solo diventa possibile ma si giustifica poiché consente la formulazione di leggi quantitative che permettono di spiegare meglio fenomeni noti e prevenire fenomeni nuovi, risultando quindi il più idoneo a soddisfare "*l'intentio recta*", l'intenzione di dire, appunto, le cose come stanno e non che senso hanno.

Il problema della misura si inquadra nella conoscenza scientifica come una continua istanza di analisi e di sintesi del percepito, dove la misura delle grandezze è l'analisi e il modello matematico (a posteriori), ne è la sintesi.

Certamente, come abbiamo ampiamente osservato in precedenza, riesce difficile separare analisi e sintesi l'una dall'altra perché sono sempre compresenti, è un dato acquisito che la conoscenza scientifica oltre a procedere attraverso modelli di sintesi (a posteriori) necessita la formulazione di modelli preconetti (a priori) continuamente soggetti a falsificazione e verifica, con i quali interroghiamo la realtà e che spesso influenzano in maniera determinante l'analisi, la misura stessa.

Va sottolineato anche che la riduzione in linguaggio matematico della complessità del reale è un'illusione illuminista che è stata in vario modo smontata e dissolta dalle più recenti teorie scientifiche operanti da molti anni a questa parte, che hanno preso atto dell'inadeguatezza degli strumenti matematici a disposizione per descrivere appieno la realtà e dell'impossibilità di un approccio deterministico nello studio dei fenomeni complessi quali quelli naturali.¹⁸

¹⁸ Una tendenza di pensiero che si è sviluppata nell'ultimo cinquantennio in ambito scientifico così come in quello filosofico, si basa sulla convinzione che, per studiare ed analizzare fenomeni complessi del reale, non è sempre accettabile operare una drastica

Basti pensare, ad esempio, allo scompiglio generato nel mondo della fisica, e più in particolare della fisica quantistica, dalla scoperta del principio d'indeterminazione di Heisenberg.¹⁹

riduzione delle variabili in gioco per poter gestire l'analisi coi limitati strumenti di calcolo disponibili, questo perché anche le variabili più trascurabili non considerate finiscono, prima o poi, ad influenzare comunque l'evoluzione dei fenomeni. Ne consegue la consapevolezza che i fenomeni complessi vanno analizzati fin dall'inizio nella loro complessità, mettendo in gioco quante più variabili possibili per tentare di comprenderne la reale evoluzione. E se gli strumenti di analisi e di calcolo si dimostrano inadeguati a tale scopo, sono gli strumenti che vanno adeguati non viceversa.

Ecco che negli anni si è assistito alla nascita di nuove "teorie" e nuovi approcci nella maggior parte delle discipline scientifiche.

Basti pensare allo sviluppo delle teorie del Caos e del caos deterministico (scaturite dagli studi del matematico/metereologo Edward Norton Lorenz) per l'analisi dei sistemi dinamici non lineari che, inizialmente sottovalutate, hanno poi influenzato studi in quasi ogni campo scientifico a partire dagli anni '80.

Di fronte a simili questioni è parso evidente che, se la matematica e la fisica come comunemente conosciute sono insufficienti in taluni casi a descrivere appieno determinati fenomeni della natura, vuol dire che anche la matematica e la fisica possono essere probabilmente ripensate in una forma meno riduzionista e meno deterministica, e a questo problema si è tentato di dare una risposta, principalmente dal secondo dopoguerra in poi, attraverso approcci analitici alternativi di tipo statistico e probabilistico che hanno richiesto lo sviluppo delle capacità di acquisizione, analisi, gestione ed elaborazione di un enorme numero di dati in tempo reale, cosa impensabile prima dell'avvento dei calcolatori elettronici.

Sono recentissimi, ad esempio, alcuni studi statunitensi sui flussi di traffico delle grandi città attraverso avanzati strumenti statistici, campionando in modo puntuale, in tempo reale, su base informatica, gli spostamenti di ogni singola utenza telefonica cellulare di un'intera città nell'arco di una giornata, cioè campionando e monitorando attraverso grafici computerizzati tridimensionali nuvole di punti in mobilità, milioni di dati rappresentanti persone che si spostano contemporaneamente.

¹⁹ Nel 1927 il fisico Werner Heisenberg scoprì che la natura probabilistica delle leggi che regolano la fisica quantistica poneva notevoli limiti alla conoscenza dello stato effettivo di un sistema atomico.

Secondo la fisica classica lo stato di un corpo in movimento può essere in qualunque momento suscettibile di misurazioni quantitative che riguardano la sua velocità e la sua posizione rispetto ad un sistema iniziale di riferimento.

Heisenberg, sulla base delle scoperte realizzate in quegli anni dai suoi illustri colleghi come de Broglie, Bohr e altri, suppose invece che a livello subatomico la velocità e la posizione di una particella in movimento siano sempre del tutto indeterminati, cioè rimangono sempre indefinite.

Tale principio, che fu definito di indeterminazione, postula che quanto maggiore è l'accuratezza nella misurazione della posizione di una particella subatomica, tanto minore è la precisione inerente alla misurazione della velocità e viceversa, pertanto è impossibile ottenere misure con il grado di precisione desiderato. L'errore è inevitabile. L'interazione della realtà fisica degli strumenti di misurazione sulla realtà microscopica del mondo subatomico appare come una perturbazione notevole che incide sulle variabili oggetto di misurazione.

Gli strumenti di misurazione hanno una incidenza tale per cui la misurazione della velocità crea una perturbazione della particella che risulta del tutto indeterminata la posizione e viceversa.

Va precisato che la limitazione nella possibilità di determinare esattamente la posizione e la velocità di una particella non è l'effetto della sola interazione del mondo fisico o macroscopico nella realtà atomica o subatomica ma è piuttosto una proprietà intrinseca della materia che si desume dall'analisi della struttura atomica della stessa, sulla base

Pur tuttavia ancora oggi il linguaggio matematico, anche se in forme alternative, statistiche, affidate a potenti strumenti di calcolo, è il linguaggio più adatto a descrivere e prevedere certi fenomeni, seppur riducendone in vario modo la complessità, e il modello matematico, (a priori o a posteriori) è lo strumento che meglio si adatta al nostro ragionare, alla nostra logica perché più facilmente riducibile a concetti logici (Russell) e al rigore scientifico.

Il modello matematico, però, richiede che tutto nella realtà sia ridotto a numero: è una struttura logica formata da un insieme concatenato di relazioni matematiche che legano tra di loro delle misure.

La misura, dunque, ha una sua funzione precisa nel modello.

“Il nesso fra il modello e la realtà è appunto un insieme discontinuo di punti di contatto, di controlli, cioè le misure, all'interno dei quali si interpola una coerenza continua fra modello e realtà.

La conoscenza qualitativa dunque non è sufficiente, occorre la conoscenza quantitativa che, attraverso la funzione della misura e dello strumento che la realizza, giustifica lo stesso come trasformatore dell'aspetto concreto della realtà (gli oggetti) nella astrattezza del modello (il pensato).

Dal modello si passa alla tecnica attraverso la misura e quindi attraverso i numeri si passa al progetto, esito dei punti fissi della conoscenza, le misure, e dello schema interpretativo, il modello. Questi numeri, che costituiscono lo sbocco di un'idea che trae alimento nella natura delle cose, attraverso una loro funzionale elaborazione vengono poi "realizzati" in oggetti, in architetture, in altro. I numeri (le misure) hanno consentito il progetto e da questo il realizzato, che non appena diventa autonomo non ha più bisogno dei numeri che l'hanno prodotto.”

²⁰

Da tutto ciò, ne consegue che "l'esperimento", cioè il momento tecnico del progetto e della realizzazione dello strumento materiale, deve essere

dei principi della fisica quantistica che furono studiati e scoperti all'inizio del XX secolo.

Si può dire che in alcun modo si può ritenere che in qualsiasi istante una particella subatomica abbia una posizione e una velocità determinati.

²⁰ Carlo Monti, Ibidem

considerato un momento indispensabile per la costruzione della stessa teoria poiché è attraverso lo strumento che si riesce a misurare il reale, ovvero a tradurre le osservazioni in dati numerici trattabili mediante il linguaggio scientifico logico-matematico.

(...) Galileo, dal momento in cui riceve notizia degli occhiali da avvicinamento degli olandesi, ne costruisce la teoria, (...) costruisce la serie dei suoi perspicilli che mettono davanti ai suoi occhi l'immensità del cielo (...) E' (...) per bisogni puramente teorici, per attingere ciò che non cade sotto i nostri sensi, per vedere ciò che nessuno ha mai visto, che Galileo ha costruito i suoi strumenti, il telescopio e poi il microscopio''²¹

ancora:

(...) L'essenza della tecnica non è affatto qualcosa di tecnico (...) All'essenza della tecnica appartiene l'apprestare e usare mezzi, apparecchi e macchine, e vi appartengono anche questi apparati e strumenti stessi, come pure i bisogni e i fini a cui essi servono (...) τεχνη non è soltanto il nome del fare artigianale e della capacità relativa, ma anche dell'arte superiore e delle belle arti. La τεχνη appartiene alla produzione (...) Essa disvela ciò che non si produce da se stesso e che ancora non sta davanti a noi, e che perciò può apparire e riuscire ora in un modo ora in un altro. (...) L'elemento decisivo della τεχνη non sta perciò nel fare e nel maneggiare, nella messa in opera di mezzi, ma nel disvelamento menzionato.²²

Lo strumento dunque rappresenta da un lato un'estensione dei nostri sensi, un filtro materiale che noi stessi costruiamo “per attingere ciò che non cade sotto i nostri sensi, per vedere ciò che nessuno ha mai visto” e cioè per portare alla luce dell'attenzione ciò che altrimenti rimarrebbe relegato nel “luogo della disattenzione”, per disvelare

“ciò che non si produce da se stesso e che ancora non sta davanti a noi, e che perciò può apparire e riuscire ora in un modo ora in un altro”.

²¹ Alexandre Koirè, dal mondo del pressappoco all'universo della precisione, Torino 1992 p.p 100-101

²² M. Heidegger, *La questione della tecnica*, in “Saggi e discorsi”, Milano 1985, pp. 5-10

D'altro canto lo strumento tecnico è anche un mezzo indispensabile per tradurre in numeri e rendere trattabile, attraverso il linguaggio matematico (linguaggio artificiale creato dall'uomo e ad esso congeniale), ciò che matematico non è (la complessità del reale) al fine di studiarlo, estrarne leggi e riuscire a sfruttarne e prevederne in gran parte i fenomeni.

(...) la realtà, quella della vita quotidiana in mezzo alla quale viviamo e stiamo, non è matematica. E neppure matematizzabile. Essa è il dominio del movente, dell'impreciso, del "più o meno", del pressappoco" (...) Ora è attraverso lo strumento di misura che l'idea di esattezza prende possesso di questo mondo e che il mondo della precisione arriva a sostituirsi al mondo del pressappoco" ²³

Nell'atto stesso di misurare, di tradurre l'osservazione del reale in quantità numeriche, dunque, la "precisione" della misura, diviene, a sua volta, un fattore determinante attraverso il quale si disvela ancora una volta l'invisibile, elevando il grado di attenzione verso fenomeni che, pur visibili ad occhio nudo, rimarrebbero nascosti dall'approssimazione e dall'astrazione, o verso fenomeni che solo nel lungo periodo si evidenziano in modo macroscopico.

Spesso osservando la realtà in maniera superficiale o ad una scala impropria, infatti, le cose appaiono in un certo modo che ad uno sguardo meno approssimativo si rivela completamente diverso; ciò che in un primo momento appare uguale si mostra diseguale, ciò che appare regolare si rivela irregolare.

Si pensi, ad esempio, ad elementi architettonici pensati in serie (una teoria di colonne, delle finestre, delle volte ecc.) oggetti apparentemente identici che, se li si osserva in maniera ravvicinata si dimostrano totalmente diversi l'uno dall'altro. Si pensi ancora ad elementi geometrici, che ad una verifica misurata anziché regolari ed astratti risultano assolutamente irregolari ed entropici,, le superfici piane non sono più dei piani, le linee rette non sono più rette, gli archi di cerchio

²³ Alexandre Koirè, dal mondo del pressappoco all'universo della precisione, Torino 1992 p.p 100-101

diventano curve non euclidee, ecc. e questo magari a causa di intervenute deformazioni o di una non perfetta esecuzione.

Si potrebbero citare infiniti casi esemplificativi e la maggior parte di essi interessano direttamente proprio la Conservazione dei beni culturali, se è vero che l'oggetto di tale disciplina è proprio quel termine critico di "forma" così ampio da comprendere *"la materia, il suo stato, gli sforzi ai quali è sottoposta, l'invisibile gioco delle armature metalliche, la giacitura dei piani dei singoli conci, la distribuzione delle forze e delle reazioni, i moduli di elasticità e di inerzia, i tipi di lavorazione e gli utensili relativi, il confronto con le diverse soluzioni storicamente date al problema statico e a quello estetico, le teorie per essi formulate, i rispettivi perché"*.²⁴

Ecco che la cultura del "tecnigrafo", dell'ortogonalità, del compasso o quella più recente del "copia e incolla" non può che essere totalmente inadeguata all'esigenza di un rilievo che sia strumento di conoscenza ai fini della conservazione.

*"La ricerca della precisione coincide dunque con il bisogno della individuazione e della distinzione. La precisione della misura è il mezzo eccellente per ricercare diversità dove l'approssimativo vede identità, per dividere e allontanare ciò che è considerato unito e vicino, per dichiarare molteplice l'uniforme [...] (la precisione) spinge a catturare la singolarità, i caratteri distintivi delle cose."*²⁵

Appare chiaro tuttavia che tale "bisogno" non è identico in ogni occasione e che il livello di precisione debba commisurarsi necessariamente allo scopo dell'indagine; non è pensabile, ad esempio, spingersi ad una precisione di livello microscopico per indagini a scala architettonica, o viceversa.

Il problema della precisione si impone oggi prepotentemente nel discorso sulla conoscenza e sugli strumenti attraverso i quali realizzarla, ancor di più che in passato, in quanto le attuali tecnologie, proprio perché forniscono misure sempre più precise, eseguono campionamenti sempre più ravvicinati, producono grandi quantità di dati, spesso implicano un

²⁴ Vittorio Ugo, *Rilievo e produzione*, in Tema 3-4, 1996

²⁵ Paolo Torsello, *Editoriale* in Tema, 3-4, 1996

problema opposto, ovvero quello della necessaria sintesi e condensazione delle informazioni, richiedendo un lavoro che, nella gran parte delle occasioni, può anche risultare “antieconomico”.

A questo proposito dovrebbe intervenire il concetto di “affinamento”, ovvero quel processo per il quale il grado di attenzione si sposta sempre più nel dettaglio solo laddove un’analisi sommaria non risultasse più sufficiente a descrivere la realtà con un dettaglio tale da fornire le risposte ricercate in funzione delle “giuste e precise domande” che pone il soggetto conoscente.

Tuttavia anche tale concetto assume degli aspetti specifici con l’introduzione delle nuove tecnologie, in quanto, come si vedrà nel paragrafo successivo, con i nuovi strumenti a disposizione proprio il concetto di “affinamento” così inteso, in un certo senso, si ribalta.

Nell’uso di tali tecniche, infatti, spesso conviene operare da subito al massimo della risoluzione dello strumento per realizzare solo in seguito una consistente riduzione dei dati, questo fa sì che solo in laboratorio, a posteriori, si decide il grado di affinamento che si vuole ottenere, essendo sempre possibile, in qualunque momento, risalire nuovamente alla totalità delle informazioni laddove vi fosse il bisogno di ottenere un diverso grado di dettaglio, senza dover necessariamente ritornare in campagna a ripetere ed affinare l’indagine.

Il concetto di affinamento, però, rimane e ritorna nuovamente sul campo nel giusto ordine (crescente al crescere dell’esigenza di dettaglio) attraverso la scelta, caso per caso, di strumenti e tecnologie diverse con risoluzioni e precisioni diverse e crescenti a seconda delle necessità.

Il problema della precisione della misura, che abbiamo osservato risulta cruciale ai fini della conoscenza, rientra in un problema generale più ampio: quello della “verità dell’informazione”.

Come abbiamo già osservato, la misura o meglio “l’informazione” numerica che siamo in grado di estrarre dalla realtà attraverso gli strumenti, rappresenta il punto di contatto che esiste tra la realtà e il modello matematico sintetico attraverso il quale noi analizziamo e modifichiamo la realtà stessa. Pertanto la premessa indispensabile

affinché ciò sia possibile è che tale informazione debba poter essere considerata “vera”.

Soltanto se l'informazione è vera, il modello col quale aspiriamo a rappresentare la realtà può in qualche modo aderire alla realtà stessa che vogliamo rappresentare, questo a prescindere dal modello che riusciamo a costruire con tali informazioni.

Le tecnologie attraverso le quali osserviamo la realtà e che utilizziamo per estrarre informazioni qualitative e quantitative, a partire da quelle più rudimentali fino a quelle più evolute, sono tutte basate su teorie scientifiche. Le informazioni che da esse scaturiscono, possiamo ritenerle “vere” e per quanto possibile “oggettive” solo a condizione che le teorie scientifiche su cui le tecnologie si basano siano una stima consistente e corretta degli aspetti rilevanti della realtà.

Nella conoscenza dunque è implicita una istanza di realismo e di verità nel senso che siccome i fenomeni non si inventano e il mondo rimane come è quale che sia il modo in cui ce lo rappresentiamo proprio per capire come è, non è sufficiente che il conoscere venga condotto con coerenza linguistica (metodo), è indispensabile che le premesse su cui il conoscere si basa siano “vere” e aderenti all'oggetto del nostro studio, altrimenti qualsiasi ragionamento possiamo pensare di fare sarà invalidato in partenza.

A questo punto è necessario chiedersi cosa sia la “verità” nella scienza e cioè nella conoscenza.

Una delle risposte possibili è che

*“La “verità” nella scienza è intesa come la “corrispondenza del discorso con ciò di cui il discorso tratta”.*²⁶

e ciò sicuramente è applicabile come requisito primario al modello con cui noi rappresentiamo la realtà.

La riflessione epistemologica ha però da tempo dissolta l'illusione che tale corrispondenza sia qualcosa di immediato e che siano chiari e indiscutibili i criteri con cui accettarla. Abbiamo già osservato che la verità nella conoscenza non esiste in senso assoluto, anzi, anche

²⁶ Carlo Monti, *Conoscenza, misura, rilievo e rappresentazione*.

storicamente parlando, spesso la verità scientifica è mutata col mutare della nostra percezione e del nostro grado di conoscenza del mondo.

La verità Tolemaica non era certo la stessa della verità Copernicana e la scienza, da quando si è dissolta la visione pseudo divina del sapere, ha intrapreso un cammino incerto continuamente soggetto a verifica e revisione in cui le teorie scientifiche si sono avvicendate l'una con l'altra distruggendo continuamente il proprio passato.²⁷

[...] la base scientifica delle scienze non ha in se nulla di assoluto. La scienza non posa su un solido strato di roccia. L'ardita struttura delle sue teorie si eleva su una palude. E' come un edificio costruito su palafitte. Le palafitte vengono conficcate dall'alto giù nella palude: ma non in una base "data": e il fatto che desistiamo dai nostri tentativi di conficcare più al fondo le palafitte non significa che abbiamo trovato un terreno solido. Semplicemente ci fermiamo quando siamo soddisfatti e riteniamo che almeno per il momento i sostegni siano abbastanza stabili per sorreggere la struttura''²⁸

La verità nella conoscenza, dunque, andrebbe considerata non tanto come un punto certo, piuttosto come un limite ideale verso il quale la ricerca scientifica tende costantemente pur nella consapevolezza che tale limite non potrà mai essere raggiunto, semmai solo approssimato in modo sufficiente da sorreggere di volta in volta "l'ardita struttura delle sue teorie".

"Per Popper senza errori non ci sarebbe nemmeno la scienza: cioè si è rovesciato il problema Kantiano dei limiti della ragione: il carattere irrimediabilmente fallibile della nostra conoscenza non consente di stabilire la verità, ma solo nel migliore dei casi di riconoscere l'errore ... le osservazioni sono sempre interpretazione dei fatti osservabili, sono interpretazioni alla luce di teorie" .²⁹

Dunque anche per il rilievo, in quanto attività scientifica e strumento di conoscenza, "il punto di approfondimento non corrisponde mai alla verità assoluta, alla misura "vera", ma ad un limite che è reso accettabile dalla

²⁷ Kuhn, 1977

²⁸ Karl Popper, *La logica della conoscenza scientifica – Il carattere auto correttivo della scienza*, Torino 1995

²⁹ Giorello, idem

controllabilità del rilievo come struttura aperta ed aggiornabile. [...] La controllabilità del rilievo e dei modelli prefissati è affidata alla ridondanza di misure rispetto a quelle sufficienti alla risoluzione delle incognite, alla progettazione topologico-geometrica e alla compensazione delle reti topografiche.”³⁰

Se dunque la verità dell'informazione va intesa come il limite ideale verso cui tendere, oggi l'attività mensoria non si realizza più alla ricerca del dato univoco e determinato ma alla ricerca di una “stima” della misura espressa sostanzialmente attraverso parametri statistici efficaci.

Il problema dunque si sposta dalla “precisione” alla “stima accurata dell'intorno di incertezza” e l'obiettivo finale sarà non solo quello di ridurre al massimo l'ampiezza di tale errore ma, soprattutto, come vedremo, quello di limitarne il più possibile la propagazione incontrollata.

Occorre a questo punto capire quali aspetti e problemi specifici questa nuova istanza di “verità” fa emergere nel confronto con i nuovi strumenti tecnologici della conoscenza.

Il modo in cui il problema della “verità dell'informazione” incide nel discorso sulle nuove tecnologie è una questione tutt'altro che irrilevante soprattutto quando si tratti di tecnologie informatiche o a controllo informatico, come sono la maggior parte delle tecnologie di cui trattiamo. Ci si domanda innanzitutto, se l'errore, o meglio l'ampiezza dell'intorno di incertezza della misura, la cui stima abbiamo visto essere oggetto dell'odierno misurare, dipenda esclusivamente dai limiti e dalle capacità tecniche e tecnologiche dello strumento di misura e dai principi fisici e scientifici che sono alla base del suo funzionamento, o se ci sono altri fattori che influiscono in modo determinante sulla verità del dato che lo strumento restituisce.

La domanda non è affatto banale in quanto, come abbiamo visto, la verità del dato costituisce la premessa fondamentale affinché il modello sintetico matematico attraverso cui indaghiamo la realtà e le sue leggi, sia aderente alla realtà stessa rispettando quella “*corrispondenza del*

³⁰ Raffaella Brumana, *Rilievo e restauro*, in Tema 3-4, 1996

discorso con ciò di cui il discorso tratta” che costituisce più in generale la “verità” fornita dal modello di conoscenza.

Se le premesse sono false lo saranno inevitabilmente anche le conclusioni, ragion per cui avere una stima precisa dell'intorno di incertezza della misura costituisce l'obiettivo primario di partenza a cui si può arrivare soltanto capendo quali sono i maggiori fattori che influiscono sull'ampiezza di tale intorno.

Nel caso delle nuove tecnologie tale stima, in linea teorica, dovrebbe essere più semplice rispetto alle metodologie classiche di rilievo in quanto i fattori noti saranno innanzitutto legati al “range” di errore noto della macchina e la variabilità dei fattori ambientali che spesso in maniera altrettanto nota influiscono sull'ampiezza di tale “range” e su cui si può intervenire modificando opportuni paramentri messi a disposizione dai software di controllo.

Sempre in linea teorica, atteso il regolare funzionamento dello strumento, non dovrebbero esserci altri fattori rilevanti se si assume per acquisito che le operazioni che effettuerà lo strumento sono operazioni totalmente “automatiche”.

Tuttavia, come abbiamo più volte affermato, allo stato attuale, non si può affatto dire che le azioni e gli strumenti attuali del rilevare, anche quelli più evoluti, possono già garantire una produzione totalmente “automatica” di dati in assoluto oggettivi e “anti-interpretativi” così come si vorrebbe che fosse.

Le ragioni sono varie, la prima, fondamentale, è che, nonostante l'automazione del misurare sia di fatto già una realtà, i modi con cui tale automazione si realizza sono molto diversi tra loro e, sebbene in tale attività l'intervento del rilevatore si dovrebbe limitare all'applicazione neutrale di specifiche procedure tecniche, tuttavia già la scelta dei sistemi, delle apparecchiature e delle rispettive procedure non può essere affatto considerata neutrale, sia perché l'applicazione di tali procedure è allo stato attuale ancora sperimentale, non codificata e in gran parte lasciata alla discrezionalità del rilevatore e quindi in un certo senso “soggettiva”,

sia perché, più in generale,

“la scelta degli apparati tecnici ha già in se il ruolo di “tramite” tra l’opera e l’interprete e riflette la direzionalità, verificabile, dell’indagine scientifica e del sapere tecnico che ne è presupposto e che ne deriva: come ricorda Gaston Bachelard “les instruments ne sont que des theories matérialisées”

(...) L'utilizzo dell'uno o dell'altro strumento implica necessariamente una forma di pre-giudizio sull'oggetto, sottende la scelta consapevole di una determinata teoria della misura, significa entrare nella logica dello strumento stesso che è quella delle culture che lo hanno prodotto ed usato. ...

(...) Mentre in passato questo rapporto azione-strumento-effetto era immediato, nella pratica contemporanea esso è fortemente mediato, anzi è molto spesso inesistente: lo stato dell'arte e le direzioni di sviluppo delle modalità di analisi evidenziano radicali novità sia in fase di acquisizione delle informazioni sia nel momento della loro elaborazione. Il primo segno di un profondo cambiamento risiede nel progressivo distanziamento dalla contiguità fisica con l'oggetto, consentita solo dai tradizionali metodi longimetrici ma negata dalle moderne tecnologie che rilevano l'architettura da lontano definendone griglie di punti, tramite personal computer topografici potenziati dalle novità informatiche, oppure fissandone immagini tramite le soluzioni sempre più accessibili offerte dai trattamenti digitali.”³¹

Se la scelta degli apparati tecnici non è neutrale, ne consegue che anche una scelta non adeguata a un determinato scopo o un'applicazione non corretta delle procedure o ancora l'operare senza una profonda consapevolezza dei principi scientifici su cui si basa quella determinata tecnologia scelta, così come le possibili tecnologie alternative, sono tutti fattori che certamente influiranno anche sulla correttezza e sulla “pertinenza” del dato acquisito e quindi sull'ampiezza dell'intorno d'incertezza. A differenza di quanto avviene per l'errore insito nello strumento, però, tali fattori influiscono in un modo totalmente diverso, cioè in modo spesso non controllabile e quantificabile, una tale aleatoria

³¹ Giovanna Massari, *Le pratiche di misura, processi e strumenti*, in Tema 3-4, 1996

indeterminatezza vizierà allora l'intero risultato facendo venir meno il primo fondamentale presupposto di "verità".

Va osservato, infatti, che oggi appare sempre più concreto il rischio di rimanere ostaggio delle tecnologie nella misura in cui queste vengono utilizzate senza padroneggiarne davvero tutti gli aspetti, affidandosi ciecamente a dei risultati che spesso sono viziati da errori procedurali e applicativi, che pertanto restituiscono contenuti impropri e impreveduti che sempre più spesso non si è nemmeno in grado di leggere. Non è un caso che oggi si fa sentire sempre più l'incidenza, nell'ambito della conoscenza scientifica, della serendipity.

Ciò probabilmente deriva dal fatto che si sono di fatto separati i destini e gli scopi della ricerca scientifica con quelli della ricerca tecnologica, l'una sempre più slegata dal mondo produttivo e l'altra sempre più soggetta al mondo economico-industriale, più portata a considerare la tecnica come mezzo per il raggiungimento di uno scopo pratico ed economico piuttosto che una parte integrante di una teoria scientifica.

Non c'è dubbio che la scienza utilizza la tecnologia per i propri scopi e che la tecnologia utilizza a sua volta la scienza per evolversi ma le due cose non sono oggi sempre connesse direttamente e non c'è un vero e proprio scambio sinergico.

Sempre più spesso, a differenza che in passato, accade che la scienza non produce direttamente tecnologia ma si ritrova ad utilizzare strumenti nati in altri ambiti, per altri scopi, per lo più pratici e che il mondo produttivo traduca principi scientifici in tecnologia senza che le due cose interagiscano direttamente l'una con l'altra.

Abbiamo già osservato che l'istanza di "automazione" dell'attività mensoria non nasce soltanto da esigenze pratiche ma risponde anche a precise istanze scientifiche in qualche modo già presenti e in taluni casi espresse già decenni prima dagli studiosi del settore del rilievo.

Ma è solo con l'introduzione nel panorama tecnologico di strumenti come i laser scanner, provenienti dal mondo produttivo per scopi pratici (l'esigenza di rilevare intricati complessi di tubazioni negli oleodotti, per risolvere problemi di "reverse engineering in campo industriale ecc...) che si è riusciti a dare una risposta, seppur parziale, anche a queste istanze

che provenivano dal mondo del rilievo architettonico, del rilievo archeologico e della conservazione, mettendo in moto un fenomeno inarrestabile che, va sottolineato, è tutt'ora in corso e in piena evoluzione e i cui sviluppi, sebbene si intravedono alcune linee direttrici, rimangono in gran parte ancora imprevedibili.

Il successivo delicato passaggio da analizzare è quello della elaborazione in post-produzione in cui appare determinante, ai fini della conservazione della verità dell'informazione, l'obiettivo di limitare il più possibile la propagazione incontrollata dell'errore iniziale.

Sappiamo che le più innovative tecnologie di analisi prese in considerazione tendono ad acquisire dal reale, per loro natura, un numero di dati spesso esorbitante e sovrabbondante rispetto alle necessità, e questo se da un lato appare coerente con l'approccio statistico di cui si è detto, dall'altro mette in evidenza il paradosso per il quale tanto più tali tecnologie sono sofisticate, tanto maggiore sarà la quantità di dati che deve essere poi, in laboratorio, necessariamente filtrato e decimato, quindi ridotto ed elaborato per poterne consentire una elaborazione / lettura / interpretazione critica.

Assumendo che i dati acquisiti in origine siano corretti e quindi rispettino il primo presupposto di verità, seppur all'interno del range di errore stimato, in che modo tali dati vengono, poi, selezionati? e in che modo vengono "condensati"?

Le metodologie sono diverse ma hanno tutte in comune il dover essere realizzate attraverso softwares e specifici algoritmi di calcolo, per forza di cose, in quanto risulta impensabile poter effettuare manualmente tali operazioni su milioni di dati.

I metodi di "inferenza" ovvero di selezione dell'informazione, e di "assiomatizzazione", ovvero di condensazione dell'informazione, che vengono usualmente adottati nelle elaborazioni di laboratorio, quali essi siano, avranno dunque il delicato compito di "preservare il valore della verità".

Se la verità è presente nelle premesse (dati acquisiti) questa dovrà essere trasferita necessariamente dalle premesse alla conclusione.

Se tale verità non viene preservata lungo i vari passaggi, la conclusione risulterà falsificata, il che significa che anche la falsità sarà poi ritrasferita da una conclusione falsificata all'insieme delle premesse.

Appare evidente, dunque, che tali operazioni comportano molto spesso la perdita di controllo, da parte degli operatori, delle trasformazioni realizzate sui dati nelle varie fasi dell'elaborazione e quindi dell'inevitabile perdita di "verità" del dato lungo il percorso.

La ragione principale di questa perdita può stare sia nell'utilizzo, spesso non consapevole, degli algoritmi di calcolo con cui i softwares di elaborazione effettuano le trasformazioni richieste, in quanto spesso tenuti volutamente ignoti all'operatore, controllabili solo attraverso alcuni parametri di settaggio per ogni singola operazione, o può stare nel non applicare tali algoritmi in maniera corretta, cosa, per altro, non infrequente. Tutto ciò rende di fatto impossibile, al termine del processo, la valutazione globale delle approssimazioni e delle trasformazioni effettuate su ogni singolo dato originariamente acquisito e quindi della conseguente perdita di "verità" del dato.

Va però sottolineato che, data una premessa corretta, cioè dei dati di campagna corretti, gli spostamenti che intercorrono attraverso le operazioni in post-produzione sono nella maggior parte dei casi, comunque, minimi e per la maggior parte degli scopi, trascurabili.

Inoltre, come già detto in precedenza, va considerato che è sempre possibile, in qualunque momento, riferirsi nuovamente al dato grezzo, di partenza, che, come è stato più volte sottolineato, sotto questa luce rappresenta un vero e proprio "documento" di riferimento per ogni elaborazione possibile a posteriori, e questo rappresenta uno dei maggiori pregi di tali tecnologie.

Tuttavia, da un punto di vista teorico, occorre essere ben consapevoli del fatto che il dato elaborato non sarà mai esattamente lo stesso del dato di partenza in termini di "verità" e questo, se risulta trascurabile per la maggior parte degli scopi, potrebbe risultare determinante in particolari applicazioni in cui sia richiesta la maggior risoluzione e definizione possibile. In questi casi è bene adottare procedure che saltino quanti più passaggi di elaborazione possibile.

A questo proposito bisogna tener presente che esiste oggi ancora una certa discrezionalità procedurale con cui spesso le operazioni di elaborazione sono eseguite in laboratorio dai vari operatori, non esistendo, nella maggior parte dei casi, ancora processi e procedure unificate, scientificamente accettate e quindi normate. Questo rappresenta ovviamente un problema nella eventuale verifica dell'attendibilità dei risultati di un lavoro condotto con queste strumentazioni e rende impraticabile qualunque forma di collaudo del rilievo.

Tuttavia, proprio questa libertà operativa e di procedure, ha dato adito ad una costante sperimentazione da parte di vari gruppi che operano sul campo con esiti anche molto diversi.

2.3 La conoscenza dell'architettura finalizzata alla conservazione: nuovi scenari.

Abbiamo già osservato nel paragrafo 2.2 come lo stato di fatto di un manufatto rappresenta una condizione temporanea irripetibile relativa al momento in cui viene effettuata l'indagine e che pertanto l'indagine stessa, se condotta in modo approfondito, assume per se stessa un valore di documento.

Ciò vale ancor più se, come nel caso di cui ci occupiamo, si può disporre di un patrimonio informativo di misure, di tipo eterogeneo (la nuvola di punti) che può essere considerato "oggettivo" o ancor più correttamente "non-interpretativo" nella misura in cui "fotografa" un momento temporale del manufatto misurandone contemporaneamente vari aspetti in modo diffuso e "automatico" e cioè privo di qualsiasi "a priori" formale o concettuale che possa condizionare in alcun modo il risultato mensorio. Tale insieme di dati può a tutti gli effetti essere considerato un documento temporalmente definito dello stato di fatto di un manufatto.

Ma tale patrimonio informativo non è di per se sufficiente a delineare "la conoscenza" del manufatto, è necessario a tal fine che intervenga "l'interpretazione" a mettere insieme e collegare in modo selettivo le informazioni per trarne delle conclusioni, parziali e finali, che conducano a delle precise scelte progettuali.

La rappresentazione grafica dell'indagine e delle sue conclusioni progettuali possono essere considerate, a loro volta, dunque, una testimonianza documentaria

"circa l'interpretazione che, in quello stesso istante, si è fornita sulla condizione del monumento in esame".¹

Sappiamo che Il progetto di conoscenza è, fin dal principio, un percorso direzionato ed anche se coinvolge diversi livelli di indagine, spesso molto eterogenei, deve essere sempre ricondotto ad un unica finalità che nel caso che ci riguarda è quello della individuazione e della conservazione dei "valori" presenti nel manufatto architettonico, cioè quella che in

¹ Ibidem

precedenza abbiamo chiamato “l'intenzionalità utilizzatrice” che fornisce a chi effettua l'indagine il criterio di discriminazione tra le infinite possibili “domande” che è possibile rivolgere al manufatto per la conoscenza dei suoi vari aspetti

La realtà complessa del manufatto, tuttavia, esige che il progetto di conoscenza venga condotto attraverso una serie di indagini “tematiche” parallele che coinvolgono necessariamente vari aspetti e un gran numero di competenze e professionalità diverse e distinte da quella dell'architetto conservatore a cui spetta il compito della regia complessiva.

Il progetto di conoscenza, per essere attuato, dunque, deve essere organizzato in una struttura informativa articolata ma univoca e coerente al suo interno che permetta di raccogliere e “collegare” tutti i vari livelli di conoscenza coinvolti al fine di definire una sola conoscenza complessiva del manufatto in funzione di quell'intenzionalità utilizzatrice da cui il progetto stesso è scaturito.

Possiamo allora distinguere alcuni elementi fondamentali per il discorso: esiste una conoscenza complessiva del manufatto, esito finale del percorso di indagine condotto in base al progetto di conoscenza, ma questo, a sua volta, scaturisce dalla complessa rete di relazioni che si viene a formare tra diversi livelli di conoscenza chiamati ciascuno a delineare aspetti specifici e limitati del manufatto, quali ad esempio la conoscenza storica, la conoscenza metrica, la conoscenza strutturale, la conoscenza fisico chimica dei materiali, e così via, il cui insieme, privo della rete di relazioni tra ciascuno di essi, potremmo definire come “conoscenza tematica” del manufatto.

Questi livelli di conoscenza sono filoni di indagine in qualche modo “autonomi” ma anche direzionati univocamente in funzione della direzione del progetto di conoscenza complessivo.

Ciascuno dei livelli di conoscenza coinvolti, gode tuttavia di propria autonomia scientifico-disciplinare e delle stesse proprietà osservate per la conoscenza scientifica in generale, possiamo, ad esempio, per ciascuna distinguere tra “informazione” e “interpretazione” con gli stessi problemi speculativi già riscontrati in precedenza.

Ciò significa che per ciascuno dei livelli di indagine occorre distinguere tra ciò che viene raccolto come dato informativo e ciò che rappresenta l'interpretazione critica del dato raccolto, cioè lo specifico contributo disciplinare relativo a quell'area di indagine. Ad esempio, nel caso del livello di conoscenza fisico chimico sui materiali, un complesso di campionamenti e di prove effettuate sul manufatto con strumentazioni di vario tipo, restituirà un patrimonio di misure e di dati che verrà poi interrogato e interpretato dal professionista geologo interpellato per quel livello di conoscenza.

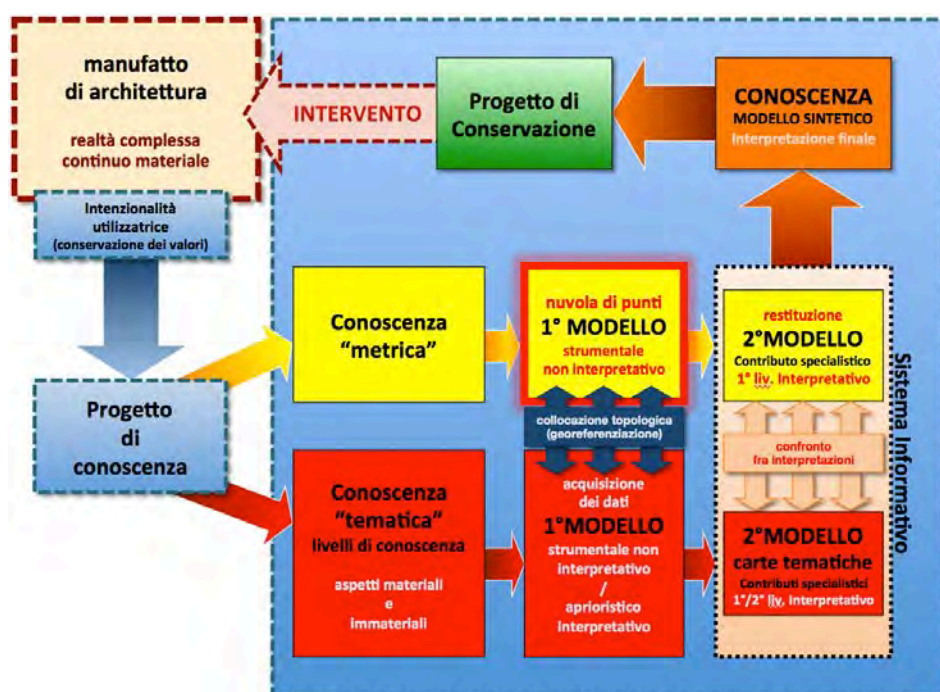


Fig.2 - Schema logico interpretativo del processo conoscitivo nell'ambito della conservazione dell'architettura, modificato in seguito all'introduzione delle nuvole di punti

Vogliamo allora mettere in evidenza due questioni: la prima è relativa al fatto che anche se ciascuno dei livelli di indagine è correttamente direzionato in funzione di quell'unica intenzionalità utilizzatrice che determina il progetto di conoscenza complessivo, tuttavia va considerato che ogni livello di indagine viene condotto necessariamente da figure professionali con competenze diverse e specifiche. Pertanto se è vero che la conoscenza, a qualunque livello, non è mai neutrale ma condizionata da modelli aprioristici che vengono falsificati di volta in volta (crf. K. Popper), per ciascuno dei livelli di conoscenza vi saranno dei modelli

aprioristici diversi, dipendenti strettamente dalla competenza e dagli interessi specifici di chi effettua l'indagine.

Questo implica che per ogni livello di conoscenza è molto alta la probabilità che l'indagine venga condotta in modo non coerente e coordinato con le finalità complessive, restituendo spesso risultati e interpretazioni sovrabbondanti e inutili, ma anche risultanze imprevedute, non considerate preventivamente da chi coordina l'indagine complessiva.

La seconda questione che preme sottolineare, e che riguarda gli interessi di questo studio più direttamente, è che non è possibile considerare i vari livelli di conoscenza come filoni nettamente autonomi, molte delle conoscenze tematiche, infatti, avranno inevitabilmente delle aree di sovrapposizione sia negli esiti interpretativi, sia e soprattutto nel patrimonio informativo su cui si basano individualmente.

Il caso più rilevante è senz'altro quello della conoscenza metrica.

Abbiamo visto nel paragrafo 2.3 come il "rilievo" abbia un duplice fondamentale ruolo all'interno del più attuale processo di conoscenza del manufatto architettonico. Esso, infatti è sia "conoscenza metrica" ovvero "interpretazione", apporto conoscitivo della disciplina scientifica del rilievo alla conoscenza complessiva del manufatto, sia patrimonio informativo di misure metriche che servono non soltanto a configurare la conoscenza metrica del manufatto, ma anche a collocare topologicamente le analisi e le conclusioni provenienti da tutti gli altri livelli di conoscenza messi in gioco, cioè è il luogo dove non solo si confrontano i vari livelli di conoscenza ma anche dove in seguito si va a configurare il progetto dell'intervento di conservazione.

Questa sovrapposizione pone però un problema: le informazioni di partenza, cioè i dati metrici che ciascun livello di conoscenza ha necessità di utilizzare per una collocazione topologica delle proprie analisi, deve essere coerente o meglio coincidente con le informazioni utilizzate in tutti gli altri livelli di conoscenza del processo e questo non sempre avviene per una serie di motivazioni legate, da un lato, alla soggettività intrinseca del dato metrico raccolto in modo tradizionale, da un lato alle finalità differenti di indagine che spesso richiedono scale

metriche e forme di rappresentazione differenti rispetto a quelle fornite dal rilievo generale.

Il risultato è che spesso si ottegono rilievi e rappresentazioni diverse e incoerenti, per ciascun livello di conoscenza anche quando si ha a disposizione un buon rilievo di base.

Facciamo alcuni esempi: ai fini della conoscenza fisico-chimica dei materiali occorre individuare delle aree omogenee per ciascuna membratura architettonica del manufatto e spesso tale individuazione può risultare difficilmente rappresentabile nel caso in cui si deve tenere conto della tridimensionalità del paramento murario, o ancora, può nascere l'esigenza di adottare una scala metrica più ravvicinata in aree di scarso interesse architettonico, trascurate dal rilievo. In tal caso occorre un'ulteriore approfondimento metrico di quelle zone, che si traduce nella necessità di realizzare una nuova campagna di rilievo a posteriori condotta, il più delle volte, per necessità, dallo stesso geologo responsabile di quella specifica indagine, spesso può sorgere anche l'esigenza di produrre forme specifiche di rappresentazione non preventivate inizialmente dal rilevatore.

Per fare un altro esempio, consideriamo il caso in cui, ai fini della conoscenza strutturale, occorre generare un modello tridimensionale di una membratura dell'organismo architettonico, ad esempio una cupola, per un'approfondita analisi condotta con un software per il calcolo agli elementi finiti. In tal caso ci si può accorgere che il rilievo a disposizione non ha i requisiti di accuratezza richiesti per quella specifica indagine e si è costretti a realizzare a posteriori un'ulteriore costosa campagna di rilievo mirata per quello scopo.

Da tali esempi appare chiaro che in una struttura informativa multilivello come quella che stiamo descrivendo, per la conoscenza del manufatto architettonico, sarebbe allora indispensabile avere a disposizione un patrimonio informativo metrico che avesse dei requisiti "ideali" descrivibili sinteticamente così:

Ideale oggettività e univocità dei dati metrici

Requisito fondamentale molto difficile da realizzare. I dati metrici, infatti, dovrebbero fornire le informazioni topologiche, spaziali,

tridimensionali di ogni parte del manufatto di architettura in modo da rappresentare un patrimonio comune a tutti i livelli di conoscenza. Se non fosse possibile considerare tali dati come “non-interpretativi”, cioè come normalmente avviene, si avrebbe per ogni livello di conoscenza un doppio livello interpretativo, uno legato al dato metrico di partenza e uno legato all'interpretazione del livello di conoscenza specifico che su quei dati metrici si basa. Nel caso, invece, tali dati potessero essere considerati “oggettivi” o “non-interpretativi” si avrebbe la garanzia che l'unico livello di interpretazione è quello legato all'apporto conoscitivo del livello di conoscenza considerato.

interrogabilità a posteriori dei dati

è direttamente conseguente al primo requisito di “oggettività”, in quanto, se questo è rispettato, sarebbe possibile per ogni livello di conoscenza interrogare il database metrico in qualunque momento senza la necessità di tornare necessariamente sul campo, anche qualora vi fossero aspetti importanti, nello specifico, trascurati nel rilievo generale, senza il rischio di elaborare esiti metricamente incoerenti (in quanto sia il rilievo, inteso come conoscenza metrica, sia lo specifico livello conoscitivo tematico, possono trarre le proprie rappresentazioni e interpretazioni da uno stesso database comune).

campionamenti diffusi e con densità elevate

anche questo requisito è diretta conseguenza dei primi due, in quanto se il database dei campionamenti metrici è non solo interrogabile ed oggettivo ma anche sufficientemente denso e diffuso, è possibile, per ciascun livello di conoscenza, elaborare rappresentazioni con una scala di dettaglio più ravvicinata, di quella fornita dal rilievo architettonico, senza il rischio che tali nuove elaborazioni risultino incoerenti con le altre e per qualunque area del manufatto occorra,.

integrabilità con altri database georeferenziati, generati da tecnologie diverse ed eterogenee.

Abbiamo detto in precedenza, ciascun livello di conoscenza produce dei database informativi su cui basa le proprie interpretazioni. Tali database vengono per lo più generati da tecnologie specifiche per ogni tipo di indagine, quali la fotografia multispettrale, la riflettografia, la

termografia, il georadar, la semplice fotografia, gli ultrasuoni, ecc.. (Naturalmente prendiamo in considerazione in particolare le indagini di tipo non distruttivo o minimamente invasive.)

Ciascuna di tali tecnologie oggi può in vario modo restituire dati georeferenziati sia in modo automatico o semi automatico che in modo manuale o assistito, attraverso appositi software.

La georeferenziazione non fa altro che collocare tali dati in un riferimento cartesiano tridimensionale globale a cui appartiene anche il database metrico, pertanto, in questo modo, attraverso questa semplice corrispondenza, è possibile sovrapporre in automatico i dati metrici con gli altri dati eterogenei di tipo qualitativo o informativo (espressi in forma numerica) che scaturiscono dalle varie indagini o direttamente da queste tecnologie, rendendo di fatto possibile, se si utilizzano dati metrici con questi requisiti, una collocazione topologica pressochè automatica di tutti i dati raccolti in tutte le indagini tematiche corrispondenti ai vari livelli di conoscenza.

Da quanto esposto in precedenza, sembra che la nuvola di punti, che analizzeremo più approfonditamente nel successivo capitolo, possieda proprio tutti i requisiti elencati e anche di più, nel senso che proprio le tecnologie di acquisizione rendono tali requisiti tecnologicamente intrinseci alla nuvola di punti, come l'oggettività del dato, la georeferenziazione, la densità e diffusione dei campionamenti, e in molti casi anche l'integrazione tecnologica come nel caso della fotografia o la riflettografia.

Esiste tuttavia un rovescio della medaglia.

Attualmente il problema principale che affligge i ricercatori che si occupano di tali tecnologie, riguarda in particolar modo il problema della "rappresentazione" del dato metrico che scaturisce dalle nuvole di punti, soprattutto in termini tradizionali "mongiani".

Le nuvole di punti, infatti, per loro natura, sono insiemi discontinui di punti discreti campionati, collocati in uno spazio tridimensionale cartesiano, in genere georeferenziato, cioè espresso in coordinate globali. Tali punti essendo campionati in automatico non misurano direttamente linee e punti notevoli del manufatto architettonico in modo tale da poterli

estrarre in automatico per configurare rappresentazioni bidimensionali classiche, così come si è abituati a manipolare. Oltretutto la caratteristica di discontinuità dei campionamenti contrasta con l'esigenza di estrarre linee e curve continue che servono a configurare tali rappresentazioni geometriche.

Per di più qualsiasi manipolazione delle nuvole di punti tendente a restituire loro una continuità di superficie o al fine di estrarre tali elementi continui notevoli, ed effettuata attraverso software con complessi algoritmi matematici, rappresenta una grave manomissione della "autenticità" del dato originale, comportando, dunque, una perdita di "verità" dell'informazione e quindi un'indeterminatezza dell'intorno d'incertezza noto di ciascun dato.

Questo si traduce ovviamente nella perdita inesorabile del "documento" oggettivo dello stato di fatto, rappresentato dalla nuvola di punti originale, venendo così a mancare proprio il principale requisito per il quale ci interessa qui discutere di tali forme di dati metrici.

Ancora, la trasformazione dei dati originali organizzati in nuvole di punti in rappresentazioni bidimensionali mongiane, è naturalmente possibile, anzi abbastanza facilmente realizzabile a patto, però, di considerare tale trasformazione come una "interpretazione" arbitraria del dato originale, ne più ne meno che come avviene nei metodi classici di rilievo e rappresentazione.

Le rappresentazioni grafiche mongiane bidimensionali di un rilevamento effettuato con uno scanner laser, dunque, anche se derivate direttamente da questo e nonostante possiedano particolari requisiti di accuratezza e precisione, non vanno assolutamente confuse con la nuvola di punti e le sue caratteristiche peculiari. Tali rappresentazioni sono solo uno dei tanti prodotti che è possibile estrarre dalla nuvola di punti, e quindi rappresentano una delle tante "interpretazioni" possibili del dato, anzi in particolare rappresentano proprio il contributo conoscitivo che scaturisce dall'interpretazione specialistica del rilevatore e che quindi risponde in particolare alle finalità scientifiche della disciplina del rilievo (individuazione delle geometrie, individuazione del disegno di progetto, dei segni e dei significati) ma, si badi bene, non risponde

necessariamente alle finalità di tutti gli altri livelli di conoscenza del processo conoscitivo.

E' dunque qualcosa di ben diverso da quel database "non-interpretativo", interrogabile, denso e diffuso di cui si parlava in precedenza.

Nonostante questo, tutti gli sforzi della ricerca sono attualmente rivolti alla soluzione di questo problema. Se ci si chiede il perchè, la risposta è immediatamente individuabile nella richiesta di mercato dei professionisti del settore che, non essendo ancora in grado, ingegneri, architetti, geologi ecc. di manipolare direttamente le nuvole di punti per interrogarle in modo adeguato alle loro esigenze, cosa già ampiamente possibile, anzi spesso molto più conveniente, chiedono a gran voce che il risultato del rilevamento con le nuvole di punti venga "tradotto" in rappresentazioni classiche, piante, prospetti e sezioni.

Attualmente, dunque, si vive un paradosso: nonostante esistano i mezzi hardware e software per nuovi tipi di rappresentazione efficaci e maggiormente utili e validi soprattutto sotto il punto di vista scientifico, si preferisce tradurre qualcosa di estremamente innovativo in un qualcosa di estremamente antico e noto perchè è questo che viene richiesto al rilevatore, nonostante che in questa traduzione si perdano la gran parte dei vantaggi che tali tecnologie possono offrire al processo di conoscenza dell'architettura, in ogni suo aspetto, ai fini della sua conservazione.

Basti considerare che si può ad esempio interrogare direttamente una nuvola di punti per un numero incredibile di cose che vanno dall'analisi della forma, all'analisi dei materiali e delle superfici o si può derivare modelli tridimensionali complessi e aderenti alla realtà per indagini agli elementi finiti, senza dover passare necessariamente per piante, sezioni e prospetti e relative carte tematiche intese in senso tradizionale.

Ciò naturalmente non significa che le rappresentazioni grafiche bidimensionali mongiane non siano più necessarie, anzi certamente restano indispensabili per un gran numero di elaborazioni, ma bisogna essere consapevoli che esse non possono rappresentare il patrimonio informativo metrico non interpretativo comune a tutti i livelli di conoscenza di cui si è discusso in precedenza, esse rappresentano solo una delle interpretazioni possibili del dato.

Ora, come attualmente accade, se tale interpretazione viene utilizzata come asse portante del processo conoscitivo, così come si è fatto in passato, bisogna essere consapevoli che si sta tornando al vecchio schema conoscitivo illustrato in fig. # con un doppio livello interpretativo per ciascun livello di conoscenza, nonostante vengano utilizzate strumentazioni più evolute, senza comprenderne, a questo punto, appieno le motivazioni.

In tale ipotesi, può benissimo risultare più conveniente ed economico utilizzare altri metodi di rilevamento tradizionali che, se usati in modo evoluto e consapevole, restituiscono lo stesso grado di accuratezza di un

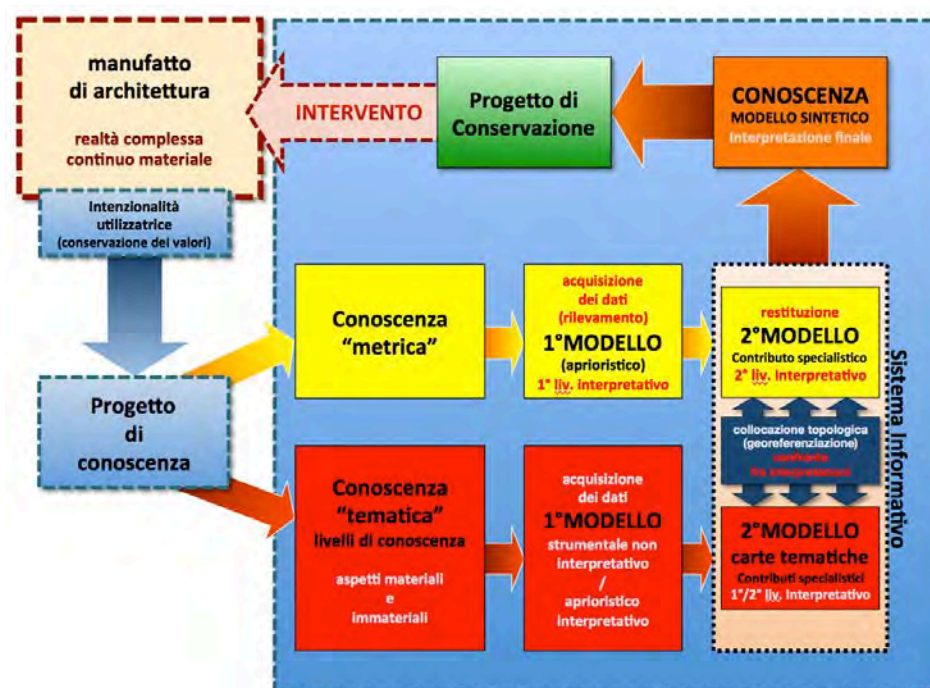


Fig.3 - Schema logico interpretativo del processo conoscitivo nella Conservazione dell'architettura senza l'introduzione delle nuvole di punti.

rilevamento con scanner laser utilizzato in questo modo.

In conclusione si può ritenere che le nuvole di punti offrono innumerevoli potenzialità che possono essere colte unicamente attraverso la manipolazione diretta, mirata e consapevole, da parte di chi conduce l'indagine, qualunque livello di indagine si tratti, senza l'intermediazione interpretativa grafica del rilevatore. Intermediazione che, invece, risulta indispensabile in un momento successivo quando occorre confrontare e relazionare i vari livelli di conoscenza tra di loro in un sistema

informativo complesso. Solo in un ulteriore passaggio tali elaborazioni possano poi essere tradotte in carte tematiche di tipo tradizionale per una migliore intellegibilità soprattutto da parte di chi le dovrà utilizzare in cantiere.

Questo presuppone, tuttavia, che tutti gli attori del cantiere della conoscenza siano in grado di manipolare direttamente la nuvola di punti per estrarne le informazioni che interessano l'analisi, tuttavia, naturalmente, ciò risulta un'ipotesi ancora lontana dal realizzarsi, seppur non così assurda da prefigurare.

Quello che è mancato in questi anni in tale panorama, è, dunque, proprio una ricerca diffusa in questo campo, realizzata non soltanto da parte dei rilevatori e dei tecnologi, che attualmente hanno monopolizzato il panorama delle pubblicazioni a riguardo, ma anche da parte di tutti gli altri ambiti disciplinari coinvolti nel processo di conoscenza con ricerche specifiche riguardanti ciascuno la propria area di interesse.

Discorso che riguarda anche e soprattutto l'architetto conservatore a cui, per di più, spetta il ruolo di regista di tutto il processo conoscitivo.

Nel capitolo quarto, tenterò, dunque, di dimostrare, attraverso un'applicazione reale sulla Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia, come sia possibile realizzare analisi conoscitive specifiche relative a diversi livelli di conoscenza, semplicemente manipolando le nuvole di punti originali acquisite, senza l'intermediazione di un rilievo grafico tradizionale e minimizzando il più possibile le manipolazioni sui punti rilevati, mostrando una casistica articolata di indagini conducibili esclusivamente attraverso questa precisa modalità, e realizzabili grazie alle strumentazioni a disposizione.

Cap. III

L'interrogazione diretta delle nuvole di punti: alcune sperimentazioni significative

Premessa

In questo capitolo verranno analizzati alcuni lavori sperimentali ed esperienze significative realizzate da gruppi di ricerca italiani e stranieri selezionate tra le varie pubblicazioni scientifiche reperibili in letteratura, esperienze che, naturalmente, riguardano l'applicazione delle tecnologie avanzate di produzione di nuvole di punti trattate in questa ricerca e che, in particolare, toccano ambiti che interessano, direttamente o indirettamente, la conservazione dei beni architettonici.

Va subito detto che, attualmente, la maggior parte delle pubblicazioni in questo campo è direttamente o indirettamente sponsorizzata da grosse case costruttrici (hardware e software) interessate alla diffusione di tali tecnologie nel mondo delle professioni o monopolizzata da ricercatori dell'ambito del rilievo e della rappresentazione o della tecnologia e dell'ingegneria in generale.

Manca, insomma, quasi completamente il punto di vista degli architetti conservatori che, paradossalmente, sono proprio i destinatari privilegiati di tali ricerche quando, come nella maggior parte dei casi, queste riguardano esperienze finalizzate a progetti di conservazione.

Questa assenza è sintomatica di un certo atteggiamento diffidente da parte dei conservatori, che, pur consapevoli di dover fare i conti, prima o poi, con tale questione tecnologica, sono tuttavia disorientati dalla complessità e mutevolezza del panorama e spaventati dalla rapidità con cui mutano le competenze richieste per padroneggiare tale problema. Per tali motivi, sempre più, ormai, si tende a demandare agli specialisti di

settore non solo l'esecuzione materiale dei rilievi ma anche l'attività di ricerca e di sperimentazione, restando spesso in disparte a osservarne gli esiti e sottovalutando, in questo modo, le ricadute che tali avanzamenti possono apportare nell'area d'interesse della conservazione.

Abbiamo già sottolineato come il rilievo, sia se considerato come “conoscenza metrica” dell'architettura, sia in quanto patrimonio informativo di dati metrici, non può essere considerato sullo stesso piano degli altri apporti specialistici che afferiscono all'interno del percorso di conoscenza del progetto di restauro, in quanto esso rappresenta la spina dorsale di tutto il sistema informativo su cui si fonda sia la fase connotativa sia la fase progettuale dell'intervento di conservazione, e pertanto tale apporto non può e non deve essere totalmente demandato all'attività degli specialisti ma deve essere coordinato in prima persona dall'architetto conservatore a cui spetta il compito di “interrogare” nel modo più appropriato il manufatto, se è vero che il progetto di conoscenza scaturisce proprio da quella “intenzionalità utilizzatrice” che può benissimo non collimare tra lo specialista rilevatore e l'architetto conservatore.

Inoltre, abbiamo anche visto come proprio grazie a questi nuovi apporti tecnologici, l'interrogazione metrica del manufatto si accompagna quasi sempre, in modo intrinseco, a un'interrogazione di tipo materico, qualitativo oltre che quantitativo, per cui appare davvero incomprensibile il relativo disinteresse passivo verso tali potenzialità ancora non del tutto espresse.

Non è infondato affermare che siamo arrivati a un punto, ormai, in cui non basta nemmeno più che l'architetto conservatore sia ben informato ed edotto sugli avanzamenti tecnologici che riguardano la sua area di interesse, cosa che appare già un traguardo, è ormai assolutamente necessario che egli stesso, in prima persona, faccia ricerca e sperimenti in tale campo e produca avanzamenti che soltanto lui può generare.

Soltanto allora si potrà mettere in moto un necessario dialogo attivo e reciproco con i produttori di hardware e software al fine di sviluppare tecnologie sempre più mirate, agili ed effettivamente utili a dare risposte a precise necessità.

Tuttavia la realtà dei fatti rimane ancora molto distante da questo traguardo e nell'attuale panorama dei contributi scientifici riguardanti questi temi, non solo non esistono attualmente sperimentazioni reali firmate da architetti conservatori, ma in gran parte delle pubblicazioni riguardanti esperienze di restauro, nel caso sempre più frequente che la fase connotativa sia stata realizzata attraverso l'uso del laser scanner o di metodi fotogrammetrici avanzati, tale attività viene di solito liquidata con le solite generiche considerazioni costruite su luoghi comuni o sulle esigue note tecniche fornite al restauratore da coloro che hanno materialmente eseguito il rilievo.

Rispetto a queste, spesso basta risalire alle pubblicazioni scritte dagli stessi esecutori del rilievo per ritrovare note e riflessioni ben più interessanti.

Non è un caso, allora, che la maggior parte delle esperienze e delle pubblicazioni scientifiche di seguito analizzate sono state condotte e scritte da ingegneri, architetti rilevatori, geometri e persino geologi.

Lo scopo di questa rassegna è, dunque, quello di selezionare alcune sperimentazioni che, attraverso l'utilizzo di metodi di produzione di nuvole di punti complesse, travalicano il puro e semplice rilievo metrico, già ampiamente testimoniato in letteratura, e conducono ad un'analisi della "forma" intesa nella sua accezione più ampia più volte citata in precedenza.

L'obiettivo è quello di verificare le potenzialità applicative che differenziano e connotano fortemente l'uso delle tecnologie di produzione delle nuvole di punti, oggetto della tesi, rispetto alle tecniche tradizionali di rilevamento, ai fini della conoscenza del manufatto architettonico per la conservazione.

Si sottolinea, dunque, che l'analisi è condotta a partire dal punto di vista dei conservatori e non dal punto di vista dei tecnologi o dei produttori di strumentazioni o dei "rilevatori" tout court, tale punto di vista comporta che tra le varie potenzialità offerte dalle tecnologie in esame, vengono messe a fuoco ed esplorate esclusivamente quelle che possono offrire

risposte specifiche e innovative soprattutto in relazione alle istanze conoscitive che provengono dalle esigenze della conservazione.

Un'analisi di questo tipo, dunque, non può prescindere da tali istanze ma nemmeno da una conoscenza approfondita delle caratteristiche essenziali che connotano le tecnologie in esame, determinanti per comprendere in quali aree è lecito aspettarsi risposte realmente innovative.

E' bene, dunque, ricordare sinteticamente e sommariamente tali caratteristiche, più volte chiamate in causa ed ampiamente trattate:

la possibilità innovativa di un campionamento diffuso e “oggettivo” delle superfici da indagare, sostanzialmente “indipendente” (coi limiti osservati) dalla natura e dalla forma delle superfici stesse.

l'intrinseca e automatica definizione spaziale, tridimensionale e georeferenziata di ogni informazione raccolta.

l'integrabilità con altre tecnologie, incorporate o esterne, chiamate ad aggiungere, in modo più o meno automatico, informazioni di tipo “qualitativo e quantitativo” ad ogni singola informazione di posizione spaziale vettoriale fornita dalla nuvola di punti semplice.

l'oggettività, la temporalità, la ripetibilità e la confrontabilità dei campionamenti che è possibile effettuare da posizioni diverse, ma anche in tempi diversi.

la relativa controllabilità e la conoscenza a priori dell'errore "intrinseco" dei dati raccolti che, insieme alla caratteristica di “oggettività” e temporalità dei dati sorgenti, fanno sì che le nuvole di punti acquisite, e non elaborate, possano essere considerate (al pari della documentazione fotografica), a tutti gli effetti “documento” storico, temporalmente determinato e interrogabile, di un preciso stato attuale, e quindi riferimento certo per ogni possibile, seguente e futura elaborazione.

Ancora vanno considerati:

la possibilità di campionamenti estremamente precisi di zone vastissime in modo dinamico, cioè in movimento, sia a terra che da aereo.

l'ampio ventaglio di possibilità di elaborazione che offre la post-produzione delle nuvole di punti complesse raccolte sul campo, che copre virtualmente un' amplissima gamma di esigenze di analisi, di documentazione e di rappresentazione.

Partendo da tali caratteristiche, dunque è facile intuire che da tali tecnologie si possono attendere risposte efficaci e innovative in aree come:

l'analisi morfologica: ovvero l'analisi della forma, l'analisi delle superfici e dei volumi in termini non solo geometrici e astratti ma soprattutto in termini effettivi e reali, con indagini diffuse, punto per punto.

l'analisi "qualitativa" delle superfici, sempre espressa in termini quantitativi, punto per punto, relazionata direttamente e automaticamente all'analisi della forma reale.

l'integrazione coi sistemi di calcolo agli elementi finiti, ai quali si possono offrire modelli tridimensionali maggiormente approssimati alla realtà dei manufatti.

la costruzione agevole di complessi sistemi informativi multilivello, automaticamente e intrinsecamente georeferenziati.

nuove possibili forme evolute di rappresentazione, come la realtà virtuale o la prototipazione solida.

nuove possibili forme di documentazione, come la possibilità di rilevamento tridimensionale, attraverso nuvole di punti, di manufatti sia esistenti che non più esistenti o alterati, attraverso fotografie bidimensionali attuali o storiche.

In letteratura, attualmente, oltre a numerosi casi di rilievo "metrico" tout court e pubblicazioni con intenti più o meno dimostrativi o di tipo specificatamente "tecnico", si cominciano a vedere esempi interessanti soprattutto per quello che riguarda l'analisi della forma reale, con applicazioni che, spesso, sono finalizzate all'analisi dei dissesti e delle deformazioni, all'analisi strutturale, o alla ricerca delle generatrici geometriche di volte ed altre membrature architettoniche e così via, naturalmente, per i nostri scopi interessano molto i primi.

3.1 Analisi delle deformazioni di prospetti: le due torri di Bologna.

Esaminiamo un lavoro molto recente, condotto nel 2010 a Bologna sulle due torri simbolo del capoluogo emiliano, la torre Garisenda e la torre degli Asinelli.

La prima cosa interessante da notare è che questo studio è stato realizzato non da architetti rilevatori o ingegneri e tecnologi, ma da un gruppo di ricerca dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) di Bologna, a dimostrazione del fatto che la manipolazione diretta delle nuvole di punti è un qualcosa che interessa un ambito multidisciplinare, attraverso di essa, infatti, possono essere realizzate indagini specifiche e mirate senza dover far ricorso a un rilievo metrico del manufatto storico che molto spesso neppure esiste o se esiste si dimostra insufficientemente accurato per gli scopi specifici dell'indagine.

Anche nell'ipotesi di commissionarne uno ad hoc, i costi estremamente elevati, certamente richiesti da un rilievo accurato come quello delle due torri, assorbirebbero gran parte delle risorse messe a disposizione e nonostante questo non è detto che tale rilievo risponda alle specifiche necessità dell'indagine.

Facendo ricorso a proprie strumentazioni, invece, e più precisamente un laser scanner terrestre Optech ILRIS 3D, un gruppo di geologi, senza una specifica formazione nel campo del rilevamento architettonico, è stato in grado di realizzare uno studio molto attento e scientificamente accurato dello stato deformativo e morfologico delle due torri utilizzando unicamente il prodotto informativo restituito dallo scanner. Questo allo scopo di ricercare le correlazioni tra lo stato attuale del sottosuolo e del traffico veicolare, lo storico degli eventi sismici di Bologna, noti e documentati, e la distribuzione delle deformazioni riscontrate sulle torri in modo, poi, da confrontarne le risultanze con alcuni modelli previsionali di deformazione virtuali già pubblicati in alcuni lavori scientifici precedenti.

Parte del contenuto del rapporto tecnico risultante, poi, è stato presentato in data 3/10/2010 al Comune di Bologna per rendere tempestivamente noti i risultati e fornire delle precise indicazioni di appoggio per eventuali interventi di restauro.

Le Due Torri sono, infatti, al centro di un acceso dibattito il cui punto principale è gli effetti di dissesto eventualmente indotti dalle sollecitazioni e vibrazioni causate dal traffico intenso. Ad oggi infatti, il passaggio di autobus e mezzi pesanti sotto le Due Torri avviene ad alta frequenza per tutta la giornata. I mezzi passano a pochi metri dalle Torri e la presenza delle fermate e dei semafori rende il loro moto discontinuo con una alternanza di accelerazioni e rallentamenti che forzosamente amplificano l'effetto della sola vibrazione dovuta ad un passaggio a velocità regolare.

La regione Emilia Romagna e, in particolare, la città di Bologna sono afflitte da fenomeni di subsidenza, un processo di abbassamento del terreno di natura principalmente antropica, dovuta all'estrazione di acque sotterranee ed idrocarburi, e in parte geodinamica e tettonica, per compattazione naturale dei sedimenti.

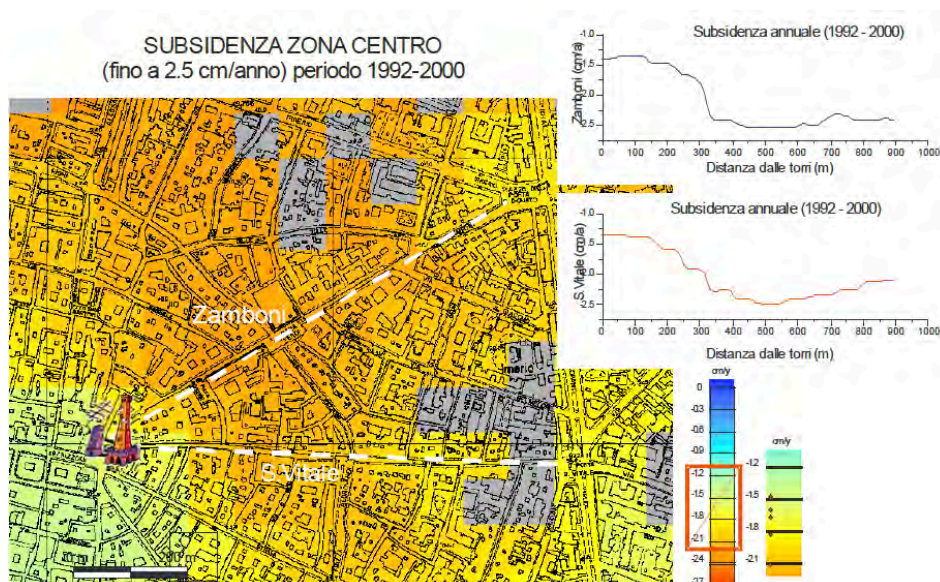


Fig.1- Mappa della subsidenza relativa al periodo 1992-2000 e valori estratti sulle vie storiche Zamboni e San Vitale. I profili delle velocità annuali mostrano l'eterogeneità del fenomeno

Il fenomeno è stato osservato fin dagli anni '70 mediante tecniche geodetiche ad alta precisione quali la livellazione geometrica; nel tempo

il monitoraggio si è via via infittito utilizzando anche misure GPS ed applicando nuovi sistemi di osservazione basati sullo studio delle immagini satellitari mediante interferometria SAR..

Recenti studi e misure relative all'ultimo decennio sembrano confermare una netta riduzione del fenomeno della subsidenza.

La stazione GPS installata nel 2007 sull'edificio che ospita la sede INGV di Bologna (via Donato Creti,12), ha permesso di monitorare le variazioni della quota di stazione per oltre 2 anni, mostrando un chiaro tasso di costante abbassamento di circa 6 mm all'anno (in accordo con lavori pubblicati recentemente nelle riviste geofisiche) e delle lente e rilevanti oscillazioni stagionali (anche superiori al centimetro) connesse probabilmente alla falda acquifera (figura 2).

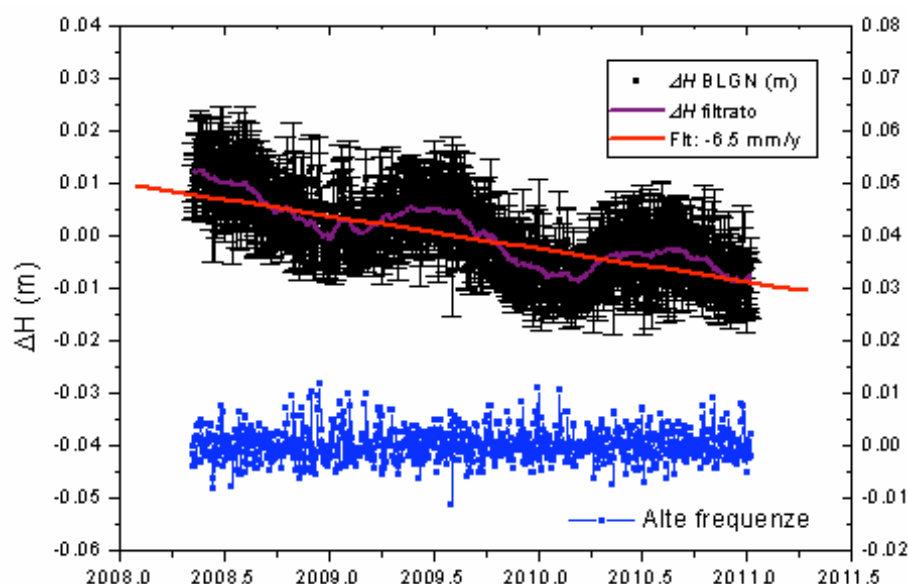


Fig.2- La stazione permanente BLGN. Serie temporale delle coordinate delle quote di stazione nel periodo 2008-2011. I dati ottenuti dall'analisi GPS corredati dell'errore sono in nero; in viola il segnale mediato, cioè filtrato e caratteristico dell'andamento della stazione; in rosso il trend lineare interpolato dai dati, che mostra un livello costante di abbassamento di circa 6 mm/y

Considerate, dunque, tali premesse, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia decide di eseguire una serie di rilievi utilizzando lo scanner ILRIS3D [Optech, <http://www.optech.ca>].

Effettuato il rilievo si pone molta attenzione in laboratorio alle procedure di allineamento delle nuvole di punti in quanto, dovendo valutare le deformazioni superficiali dei prospetti, un allineamento errato avrebbe potuto inficiare i risultati.

Tuttavia, una parte della torre degli Asinelli è coperta da una alta impalcatura per lavori di consolidamento e quindi non è stata rilevata.

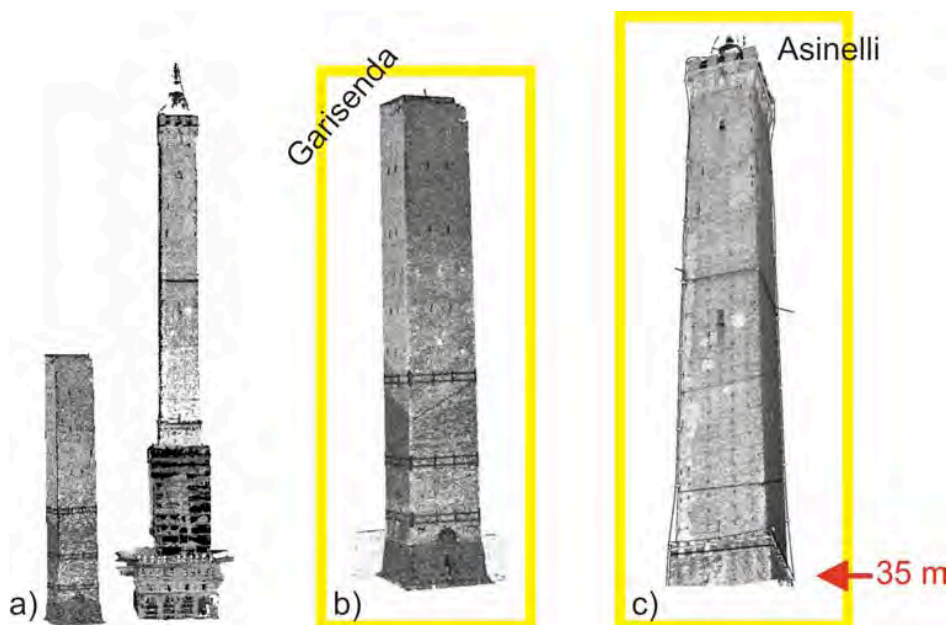


Fig.3 - a) Rilievo complessivo delle Due Torri; b) torre Garisenda; c) parziale torre degli Asinelli.

Ottenute, dunque le nuvole di punti complessive arriva il momento in cui si deve eseguire l'analisi delle superfici. A tale scopo, il gruppo di ricerca decide di eseguire tale analisi direttamente sulle nuvole di punti senza produrre grafici di rappresentazione. La strategia scelta è basata sul confronto tra i punti che giacciono su ogni prospetto ed un piano di riferimento mediante il calcolo delle distanze punto-piano.

Nell'indagine a piccola scala, mirata alla ricerca delle grandi deviazioni, si è considerato come riferimento il piano verticale passante sulla linea che delimita l'inizio del corpo della torre; nell'indagine a grande scala, mirata invece alla ricerca delle piccole differenze, si è utilizzato il piano "interpolatore", cioè il piano che meglio approssima e rappresenta il lato della torre. Quest'ultimo viene individuato attraverso l'interpolazione di tutti i punti appartenenti al prospetto in esame e, per sua stessa definizione, è il piano che rappresenta idealmente il prospetto se questo non fosse caratterizzato da deformazioni o distorsioni, se fosse cioè perfettamente regolare.

L'indagine a piccola scala consiste nel calcolare la distanza tra ogni punto del prospetto in esame ed il piano verticale di riferimento, lungo la normale al piano: in questo modo, si calcolano facilmente le deviazioni e quindi le inclinazioni rispetto alla verticale.

A grande scala, le differenze tra i punti del prospetto ed il piano interpolatore mettono in evidenza le irregolarità rispetto ad una condizione ideale, ovvero le deformazioni rispetto ad una configurazione di parete piana dovute a rimaneggiamenti o a restauri, al degrado per affaticamento dei materiali per effetti di carico, a fenomeni atmosferici e naturali quali terremoti, fulmini e altro.

Il piano interpolatore non è sensibile ai restringimenti del corpo della torre, purché questi siano regolari e aumentino più o meno linearmente con l'altezza.

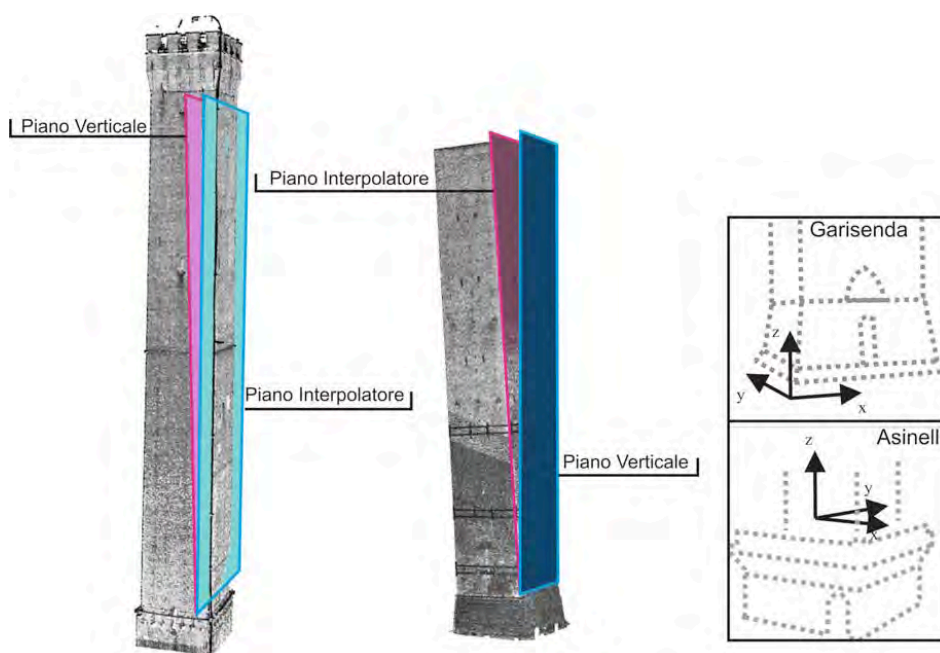


Fig 4 - I piani di riferimento per l'analisi dei prospetti delle torri e i sistemi di riferimento utilizzati per le analisi locali.

L'insieme delle nuvole di punti acquisite sulla Torre Garisenda e allineate insieme con precisione millimetrica hanno permesso di ottenere la ricostruzione totale dell'edificio. Per questioni di comodità e di semplicità nel trattamento dei dati la nuvola di punti completa è stata ruotata al fine di far coincidere gli assi cartesiani x e y con i profili della base della torre. In questo modo è molto più diretto il calcolo dei piani di

riferimento ma soprattutto è molto più esportabile il risultato per visualizzare le mappe delle differenze o i punti estratti lungo i profili verticali.

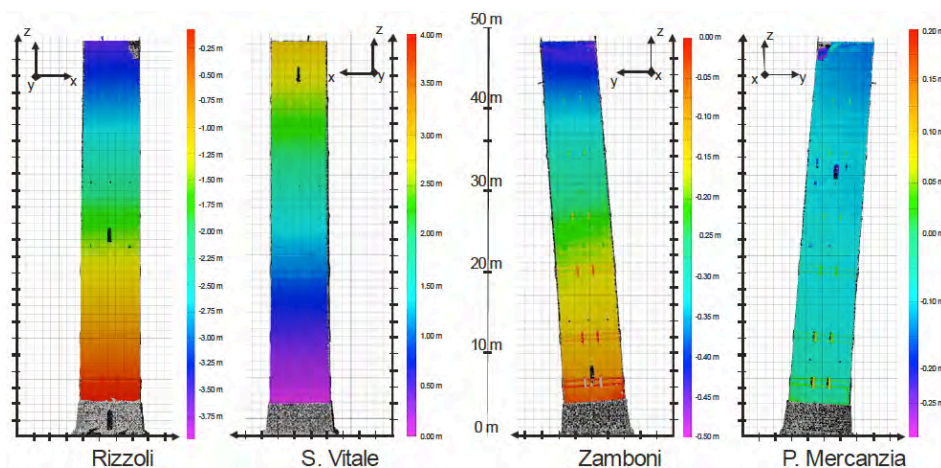


Fig.5 - Gli scostamenti dalla verticale dei quattro prospetti della Garisenda.

Le analisi rispetto ai piani verticali di riferimento hanno permesso di creare le mappe delle deviazioni dei prospetti della torre rispetto ai piani verticali passanti per la base della stessa. In particolare, i piani che sono stati considerati passano sulla linea che separa la base in blocchi di selenite e il corpo laterizio della torre.

I confronti tra i punti del prospetto su via Rizzoli (prospetto ovest) ed il piano verticale mostrano una fortissima inclinazione della torre con deviazioni negative superiori a 3 m.

Inoltre, la distribuzione delle fasce di colore mette in evidenza che, procedendo verso l'alto, l'inclinazione aumenta: oltre i 35 m, infatti, le linee di colore sono più strette. Il dato è confermato dalle analisi della parete opposta, cioè del prospetto su via San Vitale (prospetto est). In questo caso, a confermare il risultato precedente, le deviazioni sono misurate con valori positivi fino a oltre 3 m e sono pressoché speculari alle precedenti. Anche in questo caso è osservato un repentino cambio delle inclinazioni procedendo verso l'alto.

Le analisi del prospetto su via Zamboni (prospetto nord) mostrano anche in questo caso delle inclinazioni con deviazioni negative, seppur di entità assai più ridotta, con punte di circa -0.5 m.

Il prospetto su piazza della Mercanzia (sud), mostra invece una mappa più omogenea a conferma della moderata inclinazione. È bene tener presente che le torri sono costruite per reggere al proprio carico e quindi vengono snellite procedendo verso l'alto. Per questo motivo, la parte più alta è anche più stretta. Quindi, se rispetto al piano verticale la mappa delle differenze è pressoché costante si evince una leggera inclinazione dell'intera parete.

L'analisi delle deformazioni, o meglio delle deviazioni rispetto al piano interpolatore per ogni prospetto della torre, mostrano nel dettaglio quelle irregolarità indicative di uno stato di alterazione o degrado.

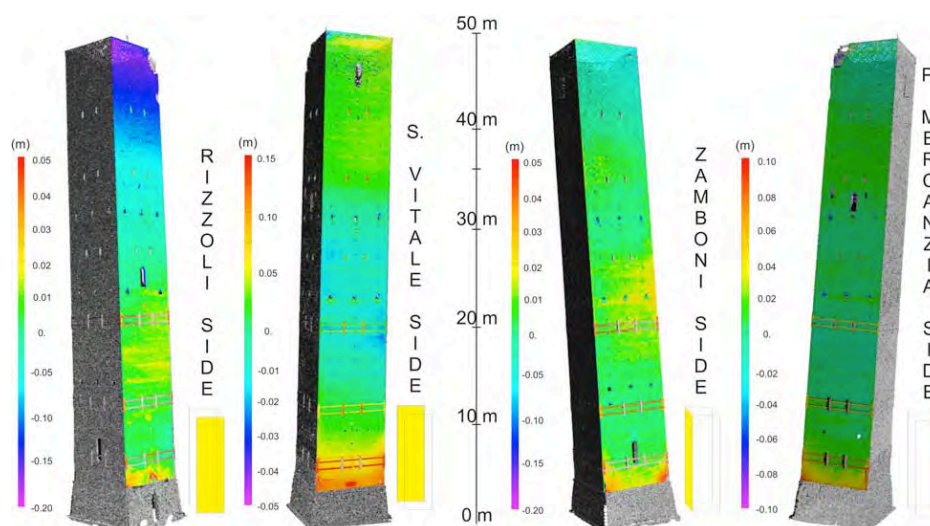


Fig.6 - Le deformazioni delle pareti della Garisenda sui prospetti di via Rizzoli, San Vitale, piazza della Mercanzia e Zamboni.

Le deviazioni relative al prospetto su via Rizzoli, mostrano chiaramente zone di rigonfiamento nella fascia più bassa del corpo della torre e tra le due cinghie metalliche installate nel 2000 per consolidare la torre in elevazione. Inoltre, è evidente un repentino cambio dell'inclinazione della torre nella parte alta.

Le stesse evidenze sono osservate nel prospetto su via San Vitale, cioè la facciata opposta. Anche in questo caso si osserva un chiaro rigonfiamento nella fascia bassa della torre e il cambio di pendenza nelle parti superiori.

Il prospetto su via Zamboni è caratterizzato ancora da un netto rigonfiamento alla base della torre e da una bombatura nella zona sopra la terza cinghia metallica e nella fascia superiore (circa 35 m).

Il lato opposto, cioè il prospetto su piazza della Mercanzia, evidenzia ancora una volta i rigonfiamenti alla base e una sequenza di deviazioni positive e negative lungo tutto il corpo della torre.

L'alta risoluzione della misura e la completezza del dato acquisito sulla superficie della torre ha reso quindi possibile scoprire che tutte le anomalie osservate sono distribuite nelle zone di massima variazione di pendenza della torre, nelle zone in cui si è intervenuto ad applicare le cinghie metalliche e comunque nelle zone in cui si ritiene sia massimo il carico della struttura. È interessante osservare in definitiva che procedendo verso l'alto si osservano dei cambiamenti di regime sulle pareti della torre, con alternanza di zone di compressione e trazione. Tuttavia bisogna sempre ricordare che l'osservazione laser non permette di distinguere in maniera univoca se la geometria osservata sia il risultato di una lenta deformazione in atto da secoli o se sia dovuta a difetti di costruzione e interventi di restauro di cui nel tempo si è persa la memoria, ma certamente permette un controllo ed un monitoraggio dettagliato di ogni parte della torre e può essere utilizzata come prezioso indicatore per ulteriori interventi di consolidamento.

In maniera analoga a quanto in precedenza descritto, vengono poi analizzati anche i prospetti della Torre degli Asinelli

La prima analisi mette in evidenza una pendenza importante verso via Rizzoli, con deviazioni dell'ordine di 2 m, ed una pendenza minore ma presente verso via Zamboni, con deviazioni dell'ordine di 0.5 m.

Le mappe di deformazione, così chiamate per distinguerle dalle precedenti, mettono in rilievo parecchie anomalie. In particolare, le differenze in relazione al prospetto su via Rizzoli (prospetto ovest)

lasciano osservare una ampia zona nella fascia più bassa, tra i 35 m ed i 40 m di altezza, di valori negativi ad indicare una posizione inclinata all'indietro, cioè una netta rientranza. Si osserva una parte di valori positivi tra i 45 m ed i 65 m ed ancora valori negativi procedendo verso l'alto. La sequenza di valori negativopositivo-negativo permette di capire

che l'intero prospetto ha una forma arcuata e segmentata, strutturalmente definito "arco con cerniere". Inoltre, la leggera diagonalità suggerisce un effetto di torsione.

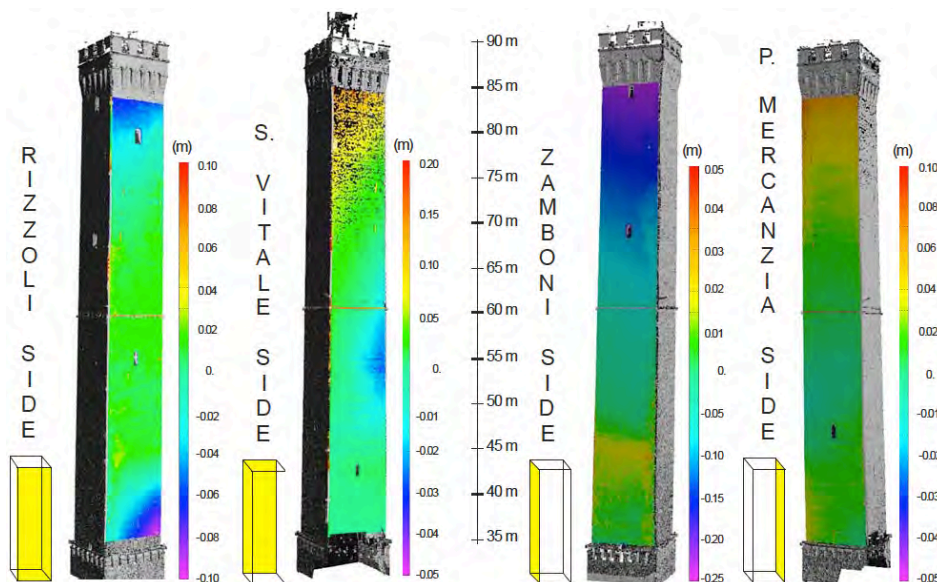


Fig.7 - Le deformazioni delle pareti della Torre degli Asinelli sui prospetti di via Rizzoli, San Vitale, piazza della Mercanzia e Zamboni.

Il prospetto opposto, su via San Vitale (prospetto est), rivela un assetto curioso. In particolare, nelle fasce più alte è evidente una distribuzione diagonale delle differenze a suggerire ancora un effetto di torsione dell'area, mentre una zona di residui negativi è individuata a circa 50 m, a indicare un possibile punto di accumulo degli sforzi.

Nel prospetto su via Zamboni (prospetto nord) è chiaramente visibile una alternanza di differenze negative-positive-negative che spiegano come, anche in questo caso, la struttura abbia una forma arcuata e ancor meno regolare rispetto ai casi osservati in precedenza. È evidente il cambio di pendenza salendo in elevazione.

L'analisi del lato opposto, prospetto su piazza della Mercanzia, mostra e conferma il cambio di pendenza verso via Zamboni e ancora mette in evidenza le alternanze dei valori delle differenze.

Infine, in tutte le mappe di deformazione mostrate sono anche evidenti delle chiazze di colore ben localizzate e certamente legate a lavori di ricostruzione avvenuti nei secoli per riparare i danni causati da fulmini, incendi, terremoti ed altro.

In conclusione, questo lavoro ha dimostrato, forse al di là delle intenzioni degli stessi autori, come utilizzando l'automazione sensoria del laser scanner, è possibile riferirsi alla nuvola di punti come un vero e proprio surrogato della realtà del manufatto, un documento numerico prezioso che è possibile interrogare a piacimento in funzione di un determinato obiettivo di indagine. La possibilità di realizzare con successo questa interrogazione, qui seguita con esemplare rigore scientifico e con esiti molto validi, dipende proprio dal fatto che la rappresentazione tridimensionale delle superfici del manufatto, configurata dalla particolare distribuzione dei punti misurati, nello spazio virtuale definito dal sistema di coordinate, è una rappresentazione non-interpretativa del manufatto, è pura e semplice informazione strumentale. Non è la realtà continua del manufatto, ben inteso, ma un suo modello numerico, discontinuo, che tuttavia, non essendo stato costruito attraverso un processo ermeneutico interpretativo ma solo strumentale e per via automatica, rappresenta un campionamento oggettivo della realtà nell'intorno di incertezza intrinseco della macchina.

Grazie a questa caratteristica, tale modello numerico può contenere anche elementi imprevisi, imprevedibili e invisibili allo sguardo disattento dell'operatore, che in tal modo possono rientrare ugualmente nell'analisi, restituendo spesso risultati inattesi ma sempre inequivocabilmente "veri".

3.2 Il comportamento statico della cupola esagonale di Santa Maria del Quartiere in Parma

Il complesso quadro lesionativo della chiesa di Santa Maria del Quartiere di Parma ha reso necessaria nel 2009, un'interessante esperienza di rilievo architettonico realizzato ab origine con la finalità specifica della valutazione della statica e del degrado.

Il rilievo è stato realizzato in prima battuta da Chiara Vernizzi a cui si è affiancato il DIAPREM di Ferrara per il rilievo con laser scanner e Andrea Ghiretti per le valutazioni sul dissesto.

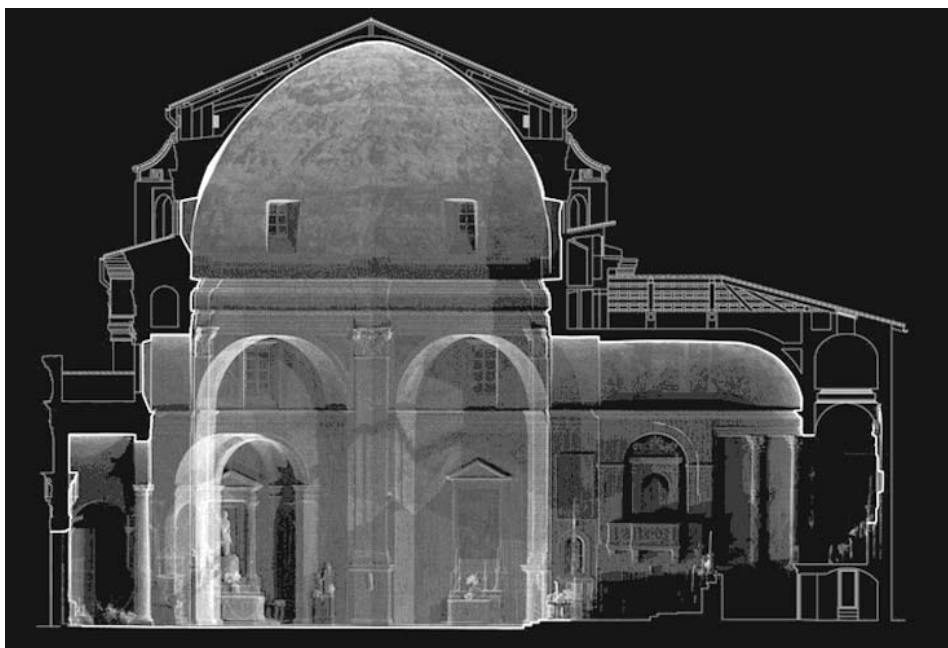


Fig.1 - Elaborazione del rilievo tridimensionale della Chiesa di Santa Maria del Quartiere: sezione longitudinale, scala originale 1:50

Durante una prima fase del rilievo sono state prelevate le misure in sito, attraverso metodologie di rilevamento tradizionali: rilievo diretto e strumentale per gli interni e rilievo fotogrammetrico per il fronte principale. In questa fase sono stati raccolti tutti i dati dimensionali volti ad una definizione geometrica e dimensionale del manufatto, utilizzando, soprattutto all'interno della chiesa, strumenti di misurazione di precisione come la stazione totale. La finalità di tale rilievo era la definizione

geometrica del manufatto per la valutazione del da farsi per quanto riguarda l'intervento di consolidamento.

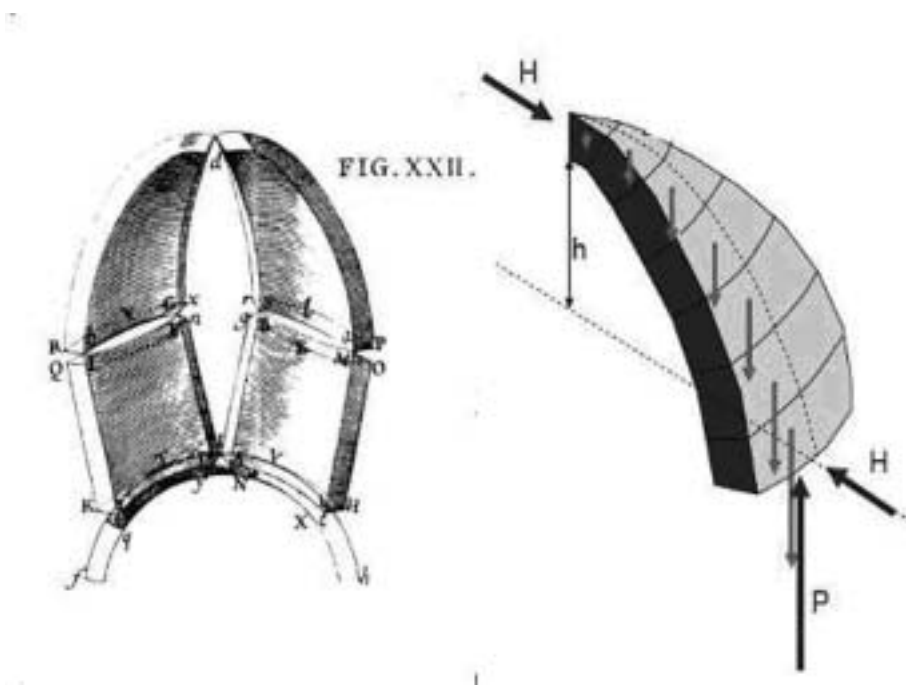


Fig.2 - Giovanni Poleni, *Comportamento delle cupole in muratura e semplificazione del calcolo* "lo spicchio della cupola è assimilato ad un arco diviso in conci. Di ogni concio si considera il peso, applicato nel baricentro"

Dall'analisi della struttura analizzata è emersa, però, ad un certo punto, l'insufficienza di tale metodo di rilievo nel descrivere in modo adeguato le geometrie della volta e il complessivo quadro fessurativo principale che lì si concentra in modo differenziato con lesioni, passanti e non, variamente distribuite sulle singole vele e sugli spigoli. Il complesso strutturale della fabbrica sembra concludersi, infatti, proprio nella cupola a padiglione a base esagonale, che, indagata geometricamente attraverso una precisa mappatura del degrado, si è imposta come elemento caratterizzante nel quadro complessivo di dissesto della costruzione. E quindi anche come oggetto principale della successiva analisi statica.

Per questo, è stato stipulato un accordo con il Centro dipartimentale DIAPReM per lo Sviluppo di Procedure Automatiche Integrate per il Restauro dei Monumenti.

Una volta portato a termine il rilievo si è posta l'esigenza di una riflessione su come procedere in modo innovativo alla valutazione del

danno e all'analisi del dissesto, soprattutto per quanto riguarda la cupola esagonale.

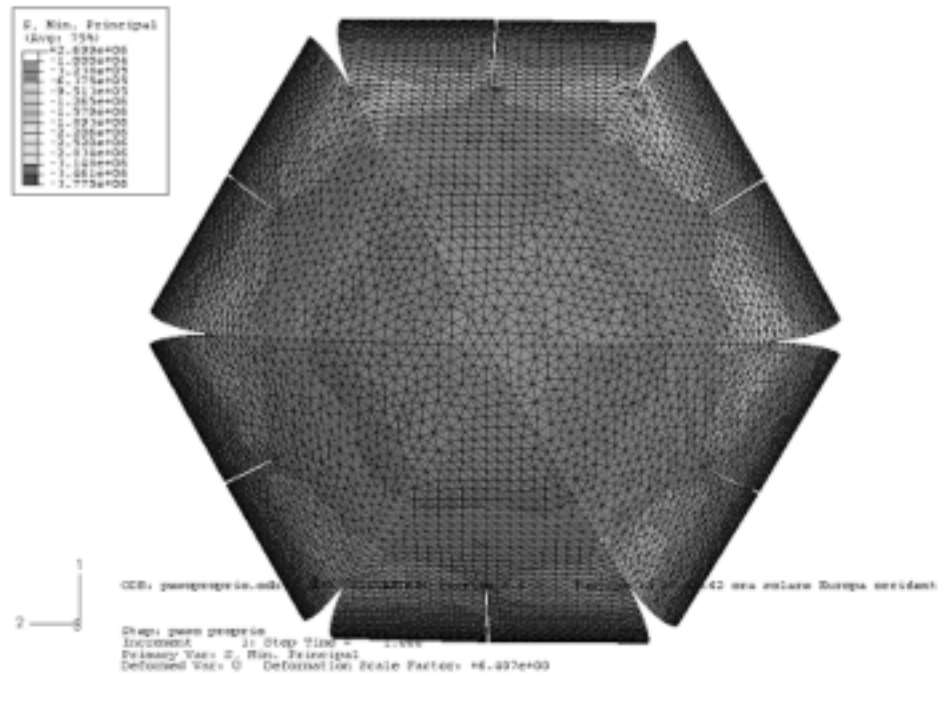


Fig.3 - Elaborazione del modello numerico. La cupola non fratturata sottoposta a peso proprio. Rappresentazione delle tensioni massime principali

Fig.4 - Modello della cupola con inserimento delle fratture sugli spigoli e a metà delle vele, sottoposta al solo peso proprio. Visualizzazione delle tensioni minime principali

Tale valutazione passa oggi, in genere, attraverso procedure di calcolo agli elementi finiti che richiedono modelli tridimensionali semplificati da sottoporre all'analisi dei calcolatori.

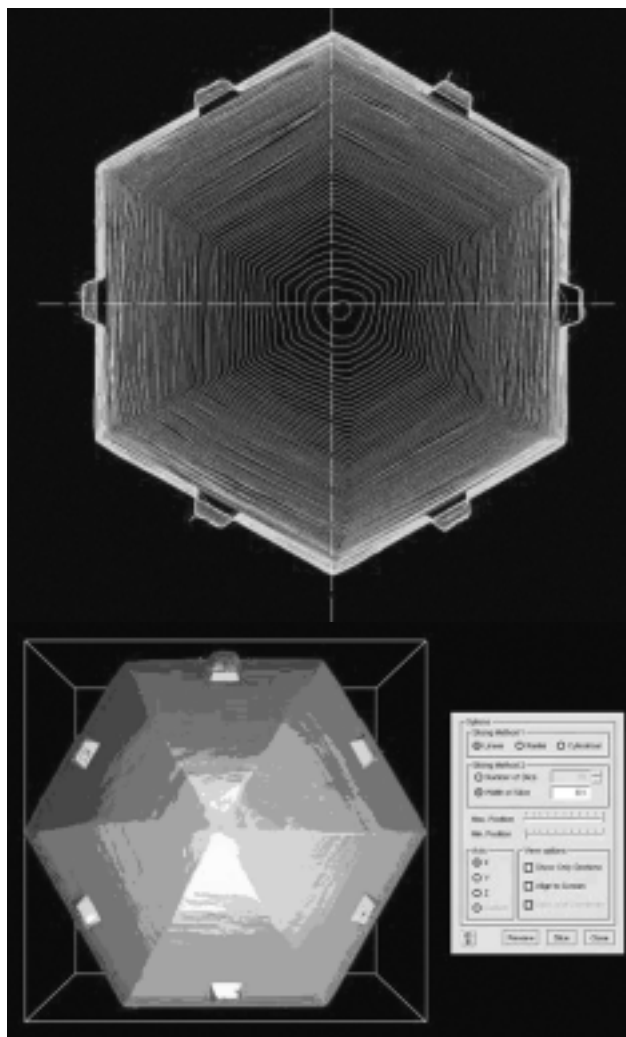


Fig.5 - La cupola descritta attraverso linee di livello ogni 10 cm. Sono evidenti le asimmetrie e le deformazioni rispetto alla geometria ideale.

Nel recente passato il salto di astrazione che consentiva di trasformare un rilievo in uno schema da analizzare nel suo comportamento statico era reso ovvio dall'impossibilità di trasportare automaticamente in un sistema di calcolo i dati raccolti con un rilievo diretto, oggi questa possibilità esiste.

E' apparso naturale immaginare, in tale lavoro, come traguardo verso cui tendere, un processo lineare che porti dal dato rilevato con strumenti tecnologici di alta precisione, all'elaborazione attraverso software di

analisi geometrico-formale e quindi direttamente ad analisi di tipo statico attraverso l'utilizzo software FEM.

Attraverso il rilievo 3D effettuato con un laser scanner è infatti possibile elaborare un modello tridimensionale estremamente fedele alla realtà ed importarlo mantenendo tutta la sua complessità formale in un software che consenta l'identificazione di processi di dissesto strutturale mediante tecniche di simulazione numerica agli Elementi Finiti (FEM).

Poter elaborare un modello virtuale che rispecchi fedelmente tutte le deformazioni intervenute nei secoli così come gli eventuali errori di costruzione che allontanano la forma reale da una geometria perfetta, è un salto in avanti enorme rispetto al dover generare un modello che sia una semplificazione geometrica basata su una media delle misure rilevate, e che inseguia condizioni di simmetria che permettono di semplificare il calcolo del modello al software agli elementi finiti, riportando la cupola a una ipotetica costruzione ideale primigenia che possa simulare un andamento iniziale delle fratture ma che è ben lungi dal rappresentare una realtà oggettiva.

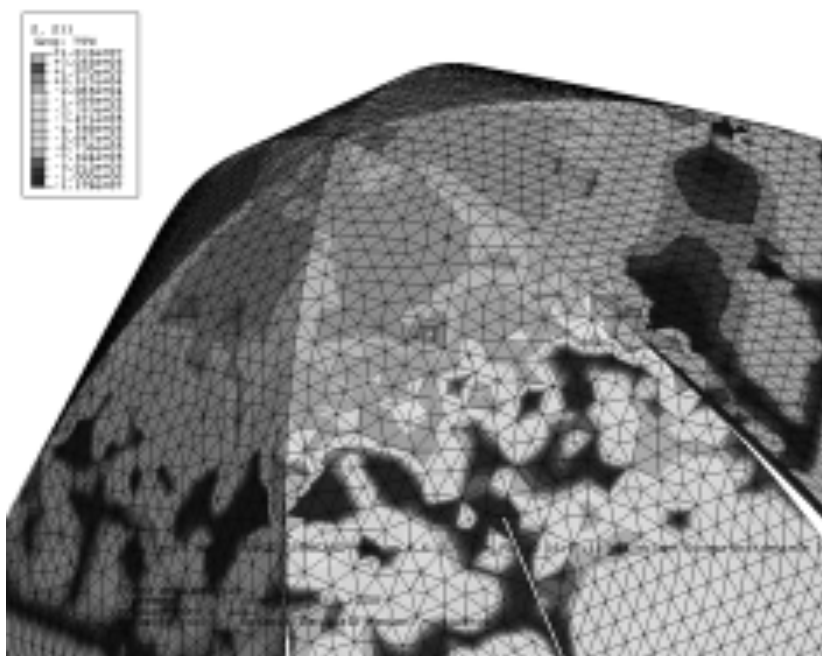


Fig.6 - La cupola fessurata e modellata secondo la reale geometria derivante dal modello laser scanner

Tuttavia i software di calcolo FEM, in questo caso ABAQUS, analizzano modelli costituiti da volumi virtuali a cui è possibile associare, oltre alle

dimensioni geometriche di ogni punto anche una massa ed un materiale con le proprie caratteristiche fisiche. Per poter quindi importare in un software FEM il dati ricavati da un laser scanner si è dovuto trasformare la nuvola di punti prodotta da quest'ultimo prima in un insieme di superfici poi in un modello virtuale costituito da volumi.

Questo passaggio obbligato, allo stato attuale, affievolisce notevolmente il collegamento oggettivo tra la realtà e il modello semplificato offerto al software di calcolo, nonostante questo sia ricavato da una nuvola di punti, tuttavia rimane un salto di qualità straordinario rispetto alla metodologia tradizionale di riduzione astratta del reale.

La metodologia proposta ha il merito di non poco conto, di farci immaginare un limite ideale verso cui tendere, cioè il passaggio diretto e automatico dalla nuvola di punti al calcolo agli elementi finiti, attraverso una necessaria attribuzione, punto per punto dei carichi, delle caratteristiche fisiche, materiche e dimensionali della superficie da analizzare con tutte le sue discontinuità.

Ci piace, infine, concludere il discorso con una interessante nota dello stesso autore (Andrea Ghiretti)

“Le sempre maggiori possibilità offerte ai ricercatori dagli strumenti tecnologici utilizzabili per effettuare approfondite indagini sulle caratteristiche geometriche, materiche e quindi statiche di un bene architettonico, tendono a favorire una visione del monumento come materialistica sommatoria di componenti fisiche.

Questa semplicistica visione porta spesso a relegare l'indagine storica e più in generale la conoscenza storico-architettonica dell'oggetto ad una esercitazione meramente “filologica” destinata a non incidere minimamente sul futuro progetto di consolidamento che seguirà rigorosamente invece le indicazioni dell'economia, della funzionalità e della “inventiva” del progettista.

Questa premessa, apparentemente lontana dal tema centrale di questo contributo, vuole sottolineare da subito che la ricerca di nuove metodologie che sfruttano i nuovi strumenti messi a disposizione dalle più recenti evoluzioni tecnologiche, non vuole essere la ricerca di un'alternativa ma piuttosto un'integrazione ed uno sviluppo delle

metodologie di rilievo e di analisi statica delle strutture architettoniche che per secoli si sono evolute e consolidate.

L'imprescindibile importanza di un'approfondita ricerca degli orientamenti teorico-concettuali e dei fondamenti storico-critici che hanno portato alla nascita di un'architettura è ben esemplificata dal ruolo assunto da una corretta analisi grafica della geometria di progetto nell'individuazione delle deformazioni avvenute nel tempo.

Comprendere l'originaria geometria costruttiva di un edificio è un aiuto indispensabile per individuare i dissesti e le deformazioni che si sono manifestati nei secoli e quindi per identificare le patologie della struttura e formulare delle ipotesi sui meccanismi strutturali. La possibilità di importare direttamente una forma complessa in un software di calcolo e verifica strutturale rende, se possibile, ancora più importante possedere la base conoscitiva per poter interpretare e discretizzare la complessità di un'architettura storica.”¹

¹ Andrea Ghiretti

3.3 Il rilievo della cittadella di Gozo a Malta: scoperte impreviste e manifestazioni del non visibile

Un altro lavoro di estremo interesse per le nostre considerazioni, riguarda alcune indagini che sono state realizzate a latere del notevole lavoro di rilievo e documentazione della Cittadella fortificata di Gozo a Malta, progetto voluto da *La Restoration Unit del Ministry for Resources and Rural Affairs* di Malta, da anni coinvolta in importanti sperimentazioni e interventi di recupero e restauro e realizzato da un gruppo di società italiane affiliate a Prorestauro (Associazione Italiana per il Restauro e la Conservazione dei Beni Culturali) capeggiato dal Consorzio Ferrara Ricerche.

Non ci dilungheremo più di tanto sul lavoro di rilievo generale se non per notare la grande capacità organizzativa resa necessaria dalla complessità del compito che ha richiesto la costruzione di un'articolata rete topografica e, soprattutto l'esecuzione di 672 stazioni laser scanner acquisite in 40 giorni di lavoro da solo 4 persone divise in due gruppi di lavoro, dotati ciascuno di un laser scanner *Leica HDS Scanstation 2* con tecnologia a tempo di volo.

E' impressionante notare come soltanto quattro persone, con due scanner a disposizione, abbiano potuto rilevare, grazie a tale tecnologia, un complesso architettonico / urbano di grande complessità esteso circa 90.000 mq.

La parte del rilievo che qui, tuttavia ci interessa analizzare, riguarda due indagini metriche che sono state realizzate al latere e al termine del lavoro generale. La prima riguarda il rilevamento della finta cupola della Cattedrale della cittadella.

Si tratta di una grande tela, dipinta in prospettiva nel 1739 da Antonio Manuele da Messina, sul modello delle cupole dipinte da Andrea Pozzo a Roma, ad Arezzo e a Vienna, disposta su di un traliccio ligneo di supporto che occupa tutto il soffitto dell'incrocio del transetto della chiesa, a fingere una grande cupola che fu probabilmente impossibile

realizzare a completamento del progetto della chiesa che fu edificata fra il 1693 ed il 1711 dal maltese Lorenzo Gafa. Dall'esterno risulta evidente il tamburo non completato, che emerge dall'incrocio del transetto in attesa della vera cupola che tuttavia non venne mai realizzata.

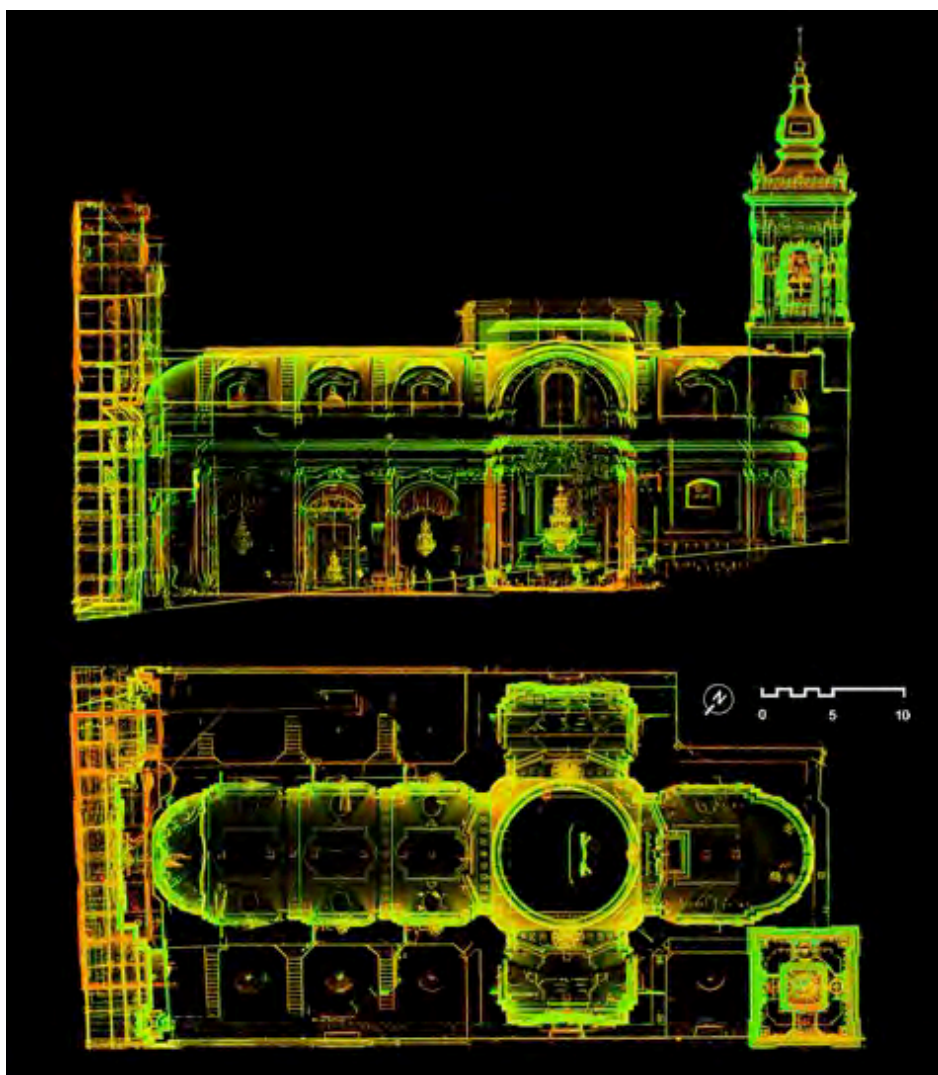


Fig.1 – Immagini della nuvola di punti acquisita della Cattedrale della cittadella di Gozo a Malta.

Data l'importanza di tale elemento, forse il più noto dell'intero complesso maltese, il gruppo di ricerca ha deciso di operare una sperimentazione sulla grande tela, utilizzando il laser scanner Leica per rilevarne con estrema precisione la superficie.

Tramite il rilievo della forma si è riusciti a costruire una mappatura dei cedimenti e dei distacchi della tela dal supporto, oltre ad individuare con certezza la forma del telaio ligneo di supporto, grazie alla registrazione

formale dei leggeri avvallamenti della superficie in corrispondenza dei tiranti che collegano la tela al telaio ligneo.

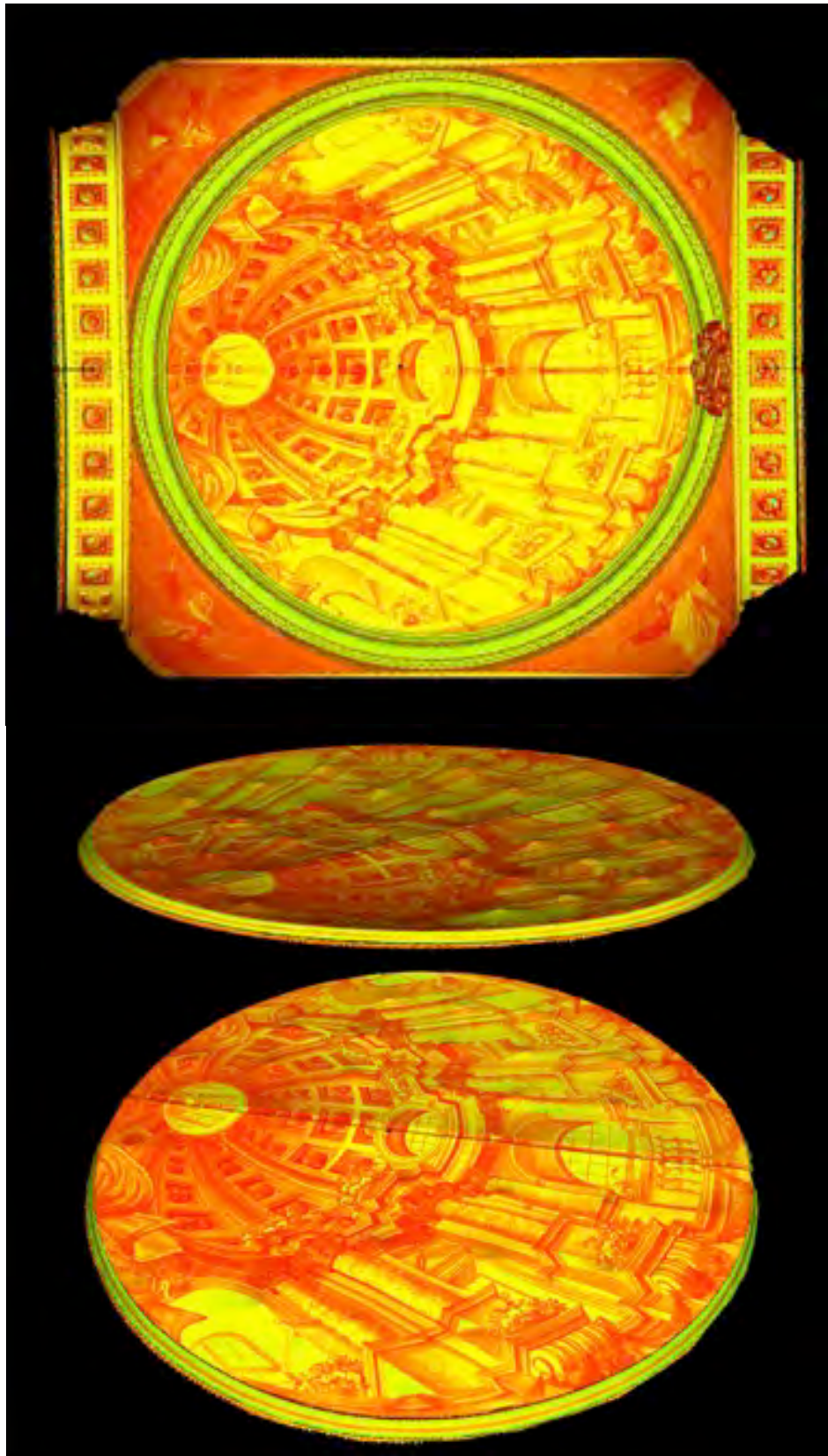


Fig.2 – La nuvola di punti della grande tela della Cattedrale di Gozo.

Avvallamenti praticamente invisibili ad occhio nudo che invece appaiono evidenti nella nuvola di punti acquisita.

Attraverso la misurazione automatica o strumentale vengono, dunque, rivelati aspetti non prevedibili o difficilmente visibili, come sono queste depressioni impresse sulla tela dai tiranti che la sorreggono nascosti dietro ad essa, che rivelano la posizione dei supporti strutturali.

Il rimando immediato è alle parole di M. Foucault:

“L’indagine non risiede nel riferire il visibile a se stesso, incaricando uno dei suoi elementi di rappresentare gli altri; classificare sarà, attraverso un movimento che fa ruotare l’analisi su se stessa, riferire il visibile all’invisibile, come alla sua ragione profonda, per poi risalire da questa architettura segreta verso i segni manifesti che ne sono offerti alla superficie dei corpi”

Attraverso l’automazione mensoria, dunque, lo strumento ci ha fornito un surrogato della “Forma” reale, con i suoi contenuti visibili ed invisibili, che sarebbe stato impossibile ottenere attraverso una rappresentazione di un modello metrico interpretativo che in quanto tale non poteva contenere gli aspetti non previsti o invisibili di tale forma.

La restituzione in proiezione ortogonale, poi, ottenuta attraverso il dato radiometrico registrato nella nuvola di punti, ha restituito anche la figurazione che appare sulla tela permettendo di verificare, dal punto di vista del costruito prospettico del disegno, la derivazione dagli esempi pozziani. Si sono infatti confermate le assonanze con le cupole in prospettiva centrale realizzate dal Pozzo in particolare la cupola della chiesa di S. Ignazio a Roma, la cupola della Badia di SS. Flora e Lucilla ad Arezzo e la cupola della Chiesa dei Gesuiti a Vienna, che presentano alcune caratteristiche formali e geometriche particolari riutilizzate dall’artista della finta cupola della Cattedrale della Cittadella.

Altro episodio significativo è il rilievo operato dei tre grandi granili collocati al di sotto della grande superficie aperta in prossimità del camminamento della zona medievale.

Questi tre grandi ambienti, ricavati nella roccia, sono collegati da un tortuoso cunicolo sotterraneo e si collegano con l’esterno attraverso le imboccature collocate in sommità.

Attraverso la manipolazione delle nuvole di punti, trattate con una diversa densità tra esterno e interno e una diversa attribuzione cromatica (l'esterno colorata in grigio uniforme e l'interno colorata attraverso la radiometria) si è ottenuta una rappresentazione dell'invisibile che mette straordinariamente in evidenza e in modo tridimensionale tutte le relazioni reali tra l'interno e l'esterno di tale parte del complesso, rappresentazione ben difficilmente ottenibile con altri mezzi.

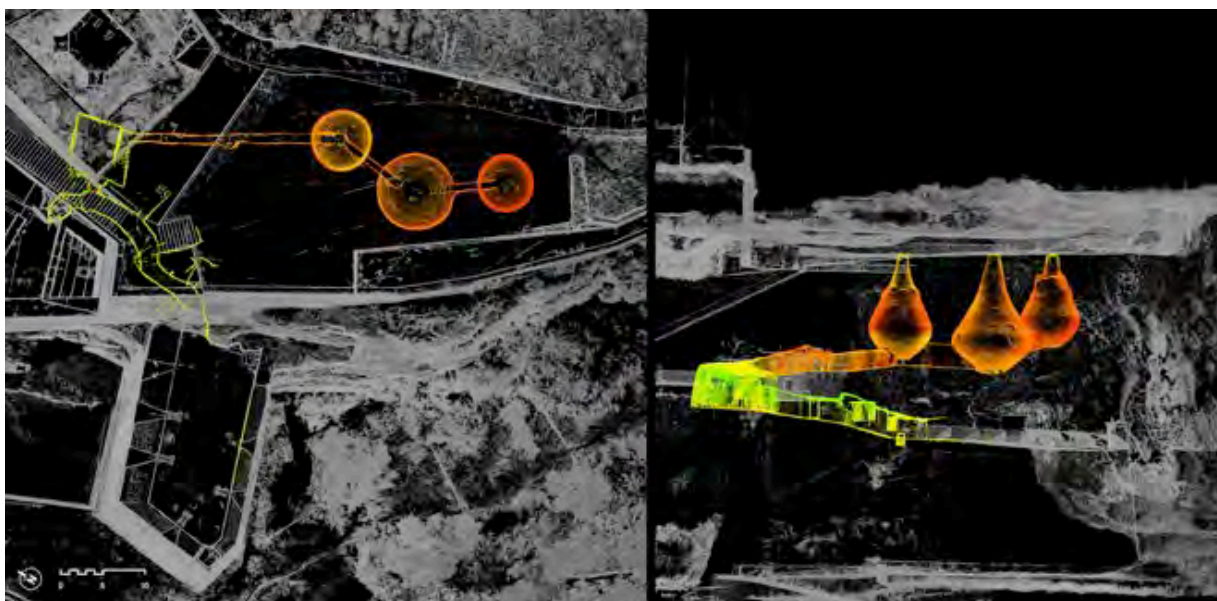


Fig 3 – Nuvole di punti dei granili evidenziati rispetto alla struttura esterna del bastione.

3.4 - Le grandi statue dei Buddha di Bamiyan, in Afghanistan: nuvole di punti per la ricostruzione virtuale

Per quanto riguarda l'applicazione di altre tecnologie alternative al laser scanner, come quella del "photo scanning" o della stereo-fotogrammetria digitale, e in particolare per quanto le nuove frontiere della documentazione dei manufatti storici, è emblematico l'interessantissimo caso della ricostruzione virtuale, fotogrammetrica, delle grandi statue dei Buddha di Bamiyan, in Afghanistan, realizzata dall'ETH (Swiss Federal Institute of Technology di Zurigo) in seguito alla demolizione delle colossali effigi, operata dai Talebani nel marzo 2001.

L'elemento più interessante di questo lavoro, del 2001, è che attraverso un processo di photo scanning –ante litteram-, realizzato utilizzando fotografie storiche di repertorio, è stato possibile generare delle nuvole di punti di precisione elevata, anche quando le statue erano già state abbattute e non esistevano più.



Fig.1 – Le statue del Buddha prima e dopo il loro abbattimento per mano dei Talebani.

Questa immagine “ex post”, insieme al rilievo "photoscan" dello stato attuale, da cui sono stati ricavati precisi riferimenti morfologico-

dimensionali e un modello di precisione delle nicchie ormai vuote, ha reso possibile la generazione di una nuvola di punti dell'oggetto perduto e, dunque, la costruzione di un modello virtuale di precisione.

Il lungo periodo di conflitto bellico che dal 1979 colpì l'Afghanistan, culminò, infatti, in un editto del governo talebano emanato per distruggere tutte le immagini di culto non islamico del paese. Nonostante grandi sforzi internazionali, in particolare dell' ICOMOS (2001) e dell'UNESCO, per convincere il governo a lasciare illese tali opere di interesse culturale mondiale o, eventualmente, di accettare la costruzione di muri che avrebbero lasciato le Statue di Bamiyan soltanto nascoste, esse sono state demolite dalle forze talebane nel marzo 2001 con cariche esplosive.

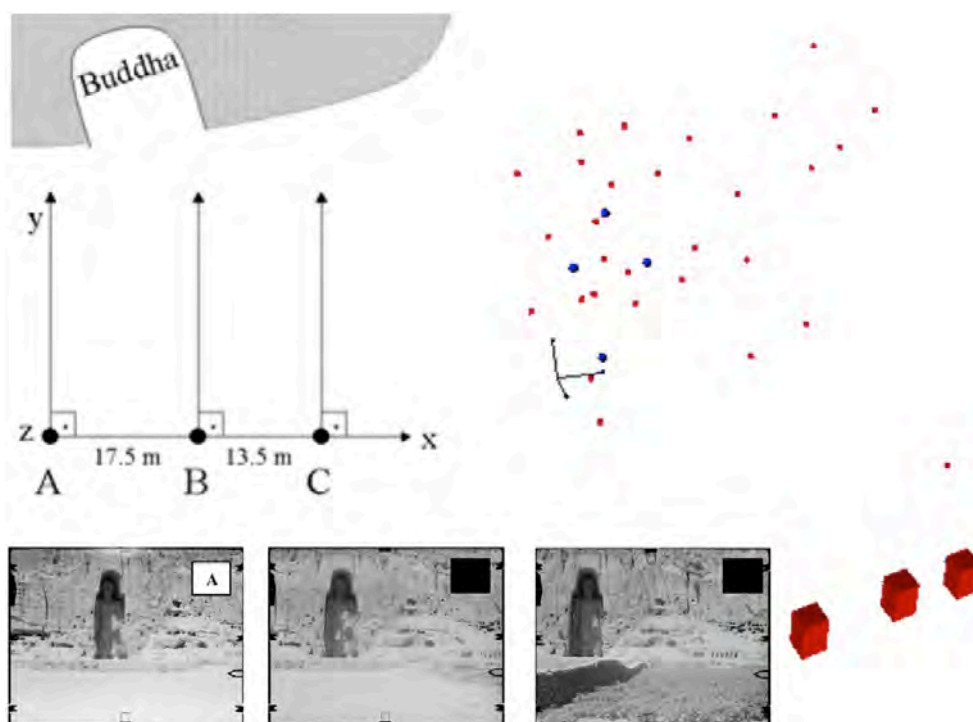


Fig.2 – Le tre foto metriche acquisite dal prof. Kostka nel 1970

Dopo la distruzione, ha preso avvio un intenso dibattito a livello internazionale sulla necessità di una ricostruzione fisica delle statue. Ma, fortunatamente, la questione rimase irrisolta.

Nell'ambito del dibattito, l'istituto ETH di Zurigo si offrì di eseguire una ricostruzione virtuale delle grandi statue, che avrebbe potuto servire come base per un'eventuale ricostruzione fisica.

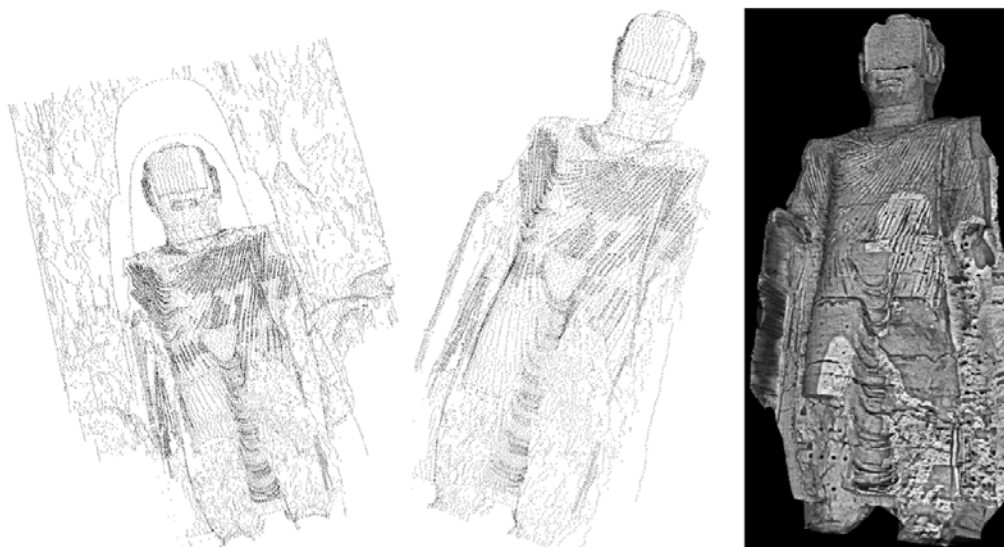


Fig.3 – Le nuvole di punti derivate dalla misurazione manuale e il modello texturizzato

In realtà, gli interessi dell'ETH nella ricostruzione del Grande Buddha erano puramente scientifici. La sfida consisteva nell'indagare in che misura un tale oggetto potesse essere ricostruito in modo completamente automatico, semplicemente usando fotografie amatoriali prese da Internet. Il problema principale stava nel fatto che pur disponendo di fotografie storiche anche recenti, i parametri di orientamento, interni ed esterni, indispensabili per la risoluzione del problema fotogrammetrico, erano totalmente ignoti e tutte le tecniche analitiche delle immagini allora disponibili, in tali condizioni avrebbero certamente fallito nell'intento.

Tuttavia, nella ricerca di immagini di repertorio, emerse l'esistenza di Tre immagini metriche acquisite nel 1970 dal professor Kostka, Università Tecnica di Graz (Kostka, 1974).

Le immagini metriche erano state acquisite con una macchina fotografica TAF (Finsterwalder, 1896; Finsterwalder e Hofmann, 1968) che era particolare fotocamera phototheodolite.

Tali immagini avrebbero garantito di per se la fattibilità del progetto, tuttavia l'ETH non si volle fermare a questo e attivò una sperimentazione

per vedere se fosse stato possibile risolvere il problema della ricostruzione fotogrammetrica anche con immagini non metriche, e pertanto vennero acquisite per lo scopo altre due serie di immagini di repertorio: una serie di 15 immagini prelevata da internet, di bassa risoluzione e un'altra serie di immagini scattate da un turista Harald Baumgartner, alla fine del 1960. Erano diapositive, acquisite con una macchina fotografica Asahi Pentax ma anche in questo caso, le condizioni di illuminazione non erano costanti in tutte le immagini ed i parametri di orientamento delle telecamere non erano noti.

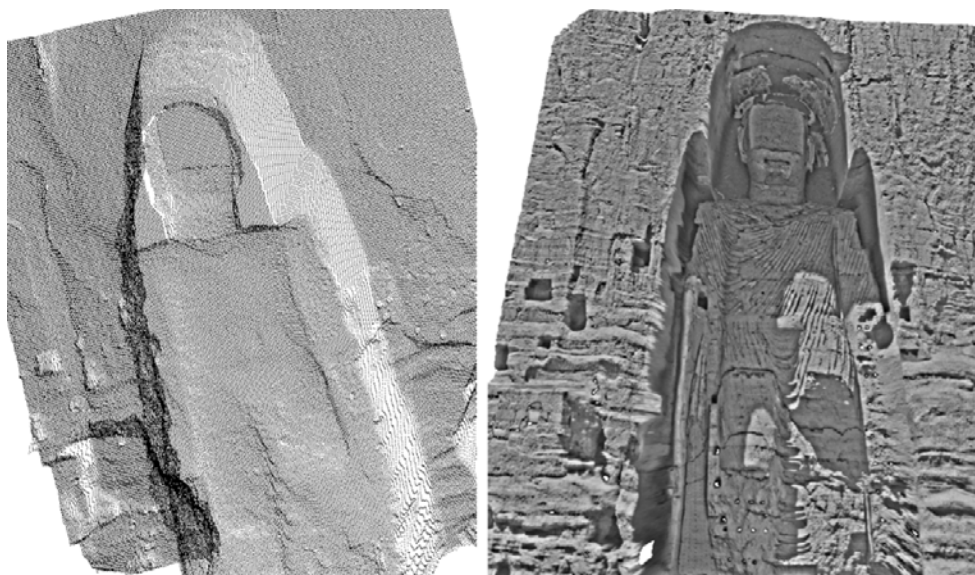


Fig.4 – La nuvola di punti derivata dal procedimento automatico e il modello texturizzato

Senza dilungarci sulle procedure tecniche utilizzate dall' ETH, per le quali rimandiamo alle pubblicazioni disponibili in bibliografia, il risultato di questa sperimentazione fu che si riuscì ad ottenere in tutti e tre i casi delle nuvole di punti tridimensionali di qualità e densità variabile in funzione, ovviamente, della qualità delle immagini utilizzate, dimostrando che tale problema era comunque risolvibile anche utilizzando fotografie ignote e a bassa risoluzione.

Le immagini metriche del prof. Kostka costituirono, tuttavia, la base per la generazione di una nuvola di punti densa circa 178.000 punti, capace di generare un modello virtuale attendibile e dettagliato con una

precisione di 1 a 2 cm in posizione relativa e con una risoluzione oggetto di circa 5 cm.

Valori straordinari che tuttavia sono stati ottenuti con procedure ibride non completamente automatiche ma integrate anche da misurazioni manuali effettuate sulle coppie di immagini, allo scopo di restituire i dettagli delle pieghe della tunica del Buddha che in parte si perdevano nella decimazione operata dalle procedure automatiche.



Fig.5 – Anaglifo e modello fisico prototipato

A conclusione del lavoro, la nuvola di punti, affinata con la procedura manuale, è stata utilizzata per la generazione di un modello fisico in poliuretano del Grande Buddha in scala 1:200, generata mediante una macchina prototipatrice presente nell'Istituto di Macchine, Strumenti e Produzione del Politecnico federale di Zurigo.

Cap. IV

L'applicazione sperimentale sulla Cattedrale di Santa Maria dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia

Premessa

La necessità di verificare in prima persona alcune potenzialità intraviste nel percorso di ricerca, è apparsa un'esigenza chiara fin da principio.

Da un lato l'impossibilità di ritrovare nella produzione scientifica sufficienti esperienze compiute in grado di fornire un supporto esaustivo alle conclusioni teoriche conseguite nella ricerca, dall'altro la volontà di dimostrare che, avendo a disposizione la strumentazione necessaria e il "know-how" indispensabile, la tecnologia di laser scanning consente di operare rilevamenti anche molto complessi in tempi ragionevolmente brevi e con il coinvolgimento di poche persone, non tutte necessariamente qualificate, indispensabili più per il supporto logistico e la movimentazione delle attrezzature che non per una reale operatività di rilevamento.

E' bene ribadire, ancora una volta, che l'intento di tale sperimentazione non è stato quello di produrre un rilievo del manufatto o una sua rappresentazione grafica, l'intento è stato quello di una verifica sul campo di quanto affermato in via teorica durante il percorso di ricerca.

La preconditione indispensabile è stata il potere usufruire di due laser scanner: un Riegl LMS-Z390 con tecnologia a tempo di volo, e un Konica Minolta Vivid 910 a triangolazione, a cui sono stati affiancati una termocamera AVIO TVS-500, una Stazione Totale e una fotocamera Nikon D200 con ottica Nikkor 20mm.

Dopo il vaglio di diverse ipotesi e conseguenti verifiche di fattibilità, si è individuato un bene culturale su cui effettuare le indagini applicative. La

scelta è ricaduta su un manufatto allo stato di rudere di grande rilievo culturale, sotto il profilo architettonico, ambientale, storico e paesistico che si trova all'interno del Castello Aragonese dell'isola d'Ischia: "la Cattedrale di Santa Maria dell'Assunta".



Fig.1 – L'Insula Minor del Castello Aragonese di Ischia.

La scelta è stata orientata da considerazioni di ordine strettamente scientifico e metodologico (coerenza con gli obiettivi prefissati) e di ordine pratico (accertata disponibilità degli spazi per l'indagine, di spazi accessori per il ricovero delle attrezzature, l'accessibilità e la fornitura di elettricità).

Nello specifico le caratteristiche salienti del bene culturale che hanno orientato con decisione la scelta sono da un lato l'elevato valore artistico-storico-culturale del bene in oggetto di cui è elemento essenziale l'eccezionale rapporto con l'ambiente e il paesaggio in cui è immerso e dall'altro l'elevato stato di degrado del manufatto che, come detto, si trova attualmente allo stato di rudere e presenta un vario quadro lesionativo, un complesso quadro storico-stratigrafico e infine, ma non per ultimo, un'estrema complessità morfologico-geometrica che lo ha reso un perfetto campo d'indagine per i nostri obiettivi.

Hanno influito nella scelta anche prerequisiti di ordine pratico e logistico, come la disponibilità del proprietario privato (famiglia Mattera) a concedere a più riprese, nell'arco dell'anno, l'uso del sito per l'esecuzione dei rilievi, e l'accessibilità e il buon livello di sicurezza che ha permesso di effettuare agevolmente le operazioni anche a una sola persona in ore sia diurne che notturne, condizione indispensabile per l'esecuzione del rilevamento senza il supporto di una nutrita squadra di persone.

A stimolare la scelta ha contribuito anche l'esistenza di un recente concorso internazionale finalizzato alla protezione e riqualificazione del sito che, pur avendo avuto esiti controversi, ha avuto il merito di sollevare una riflessione, tutt'ora in corso, sulle complesse problematiche di conservazione del bene culturale in oggetto.



Fig.2 – La Cattedrale dell'Assunta.

La Cattedrale dell'Assunta è uno straordinario episodio di architettura allo stato di rudere giunto all'attualità sostanzialmente nello stesso stato in cui lo hanno lasciato i cannoneggiamenti della flotta siculo-inglese che nel 1809, guidati da Leopoldo di Borbone, bombardarono il Castello Aragonese dell'Isola d'Ischia per cacciare le truppe francesi asserragliate

nella cittadella in seguito alla caduta della Repubblica Partenopea e alla cacciata dei repubblicani che in esso si erano rifugiati nel 1799.

Da allora ciò che non hanno fatto i cannoni inglesi lo ha fatto l'azione del tempo e il vento saturo di salsedine che continuamente erode i suoi intonaci, gli stucchi e i materiali lapidei di natura vulcanica che, non più protetti, sono esposti continuamente agli elementi della natura.



Fig.3 - La Cattedrale dell'Assunta.

Tuttavia appaiono straordinarie le relazioni di tale sito con quella stessa natura che ne affievolisce ogni giorno la materia, le relazioni col mare su cui si affaccia senza più ostacoli visivi e il cielo che s'inquadra nello spazio vuoto lasciato dalle membrature crollate, tanto che viene automaticamente alla mente la visione Brandiana di quell'avanzo di opera d'arte che *“si connette ad altra opera d'arte, da cui riceve e a cui impone una speciale qualificazione spaziale, o adegua a se una data zona paesistica”*¹ e a guardare le sue superfici martoriata torna subito in mente *“quel senso profondo di risonanza, di austera vigilanza, di misteriosa simpatia, ed anche di approvazione o di condanna, che*

¹ Cfr. C. Brandi *Teoria del restauro*, cit.

sentiamo in mura che sono state a lungo bagnate dalle onde passanti dell'umanità...e nel quieto contrasto con il carattere di transizione di tutte le cose".²

La straordinarietà e la complessità problematica del sito in parte spiega il fallimento e le difficoltà evidenziatesi nell'esito del concorso internazionale bandito per la sua "riconfigurazione spaziale"³, dimostrando, nell'implausibilità intrinseca delle proposte emerse, quasi un sottrarsi del sito a qualunque altra ipotesi di trasformazione che non sia il lento naturale degrado della materia.



Fig.4 - La Cattedrale dell'Assunta.

L'edificio rimasto, oggi si presenta privo della facciata, sopravvissuta al bombardamento inglese ma crollata alla metà del novecento per una serie di concause, privo della copertura della navata centrale, della calotta ribassata sull'altare e di parte delle coperture delle navate laterali. Le volte a crociera delle navate laterali rimaste e in parte nascoste nelle

² J. Ruskin, *Le sette lampade dell'architettura*, (aforisma 30).

³ *Concorso Internazionale di idee per la riconfigurazione spaziale della Cattedrale del Castello Aragonese di Ischia*, bandito dall' ISAM, Istituto per l'Architettura Mediterranea.

cappelle dalle finte volte barocche, poggiano sui muri perimetrali e su pilastri quadrati che inglobano precedenti colonne romaniche in pietra. La costruzione attuale, infatti, risale al 1301, eretta in seguito all'eruzione vulcanica dell'Arso in sostituzione della precedente Cattedrale distrutta nell'evento naturale, esistente sull'Insula minor già nel 1239⁴.



Fig.5 - La Cripta della Cattedrale dell'Assunta.

Originariamente di stile romanico, subì nel corso dei secoli due grosse trasformazioni: una intorno al 1509 in occasione delle nozze ivi celebrate tra Vittoria Colonna e Ferrante d'Avalos, marchese di Pescara, a seguito della quale le forme romaniche furono inglobate in una struttura a pilastri e archi a tutto sesto, e un'altra nel corso del '700 in cui la struttura rinascimentale venne ritoccata con decorazioni a stucco di gusto barocco rimaste oggi evidenti solo nell'abside dell'altare maggiore e nelle cappelle laterali ancora coperte da volte a crociera.

Di lato si erge un'imponente torre campanaria, costruita nel 1596, allo scopo di offrire un rifugio alla popolazione durante le frequenti incursioni barbaresche e anch'essa crollata parzialmente in seguito ai bombardamenti inglesi.

⁴ Come si rileva da una bolla pontificia del 1243

Al di sotto della Cattedrale si trova la cripta gentilizia dedicata a San Pietro. Costruita tra l'XI e il XII secolo. Questa era originariamente una cappella preesistente alla Cattedrale in seguito alla cui costruzione venne tramutata poi in cripta e cappella gentilizia.

E' costituita da un ambiente centrale con volte a crociera, circondato perimetralmente da sette cappelle voltate a botte. Le pareti di ciascuna cappella gentilizia recano una serie di affreschi di scuola giottesca di notevole pregio (XIV-XVII sec.) con figure di santi e stemmi relativi alle famiglie nobili ivi sepolte, che furono in parte ricoperti intorno al 1509 con un'ulteriore strato d'intonaco affrescato a motivi decorativi rinascimentali in occasione delle trasformazioni operate alla Cattedrale per le nozze di Vittoria Colonna.

4.1 Il rilevamento della Cattedrale con lo scanner laser a tempo di volo "Riegl z390".

Le operazioni di rilevamento hanno richiesto tre impegnative campagne di lavoro separate, una prima realizzata nel gennaio 2010, una seconda nel mese di settembre 2010 e una terza nel mese di ottobre 2010.

L'organizzazione del lavoro in sessioni è stata resa necessaria da un lato dall'impossibilità di effettuare il lavoro al Castello durante la stagione turistica per un tempo prolungato e dall'altra dall'instabilità climatica nel periodo invernale che ha condizionato non poco la scelta delle date, dovendo effettuare la maggior parte delle scansioni in esterno.



Fig.1 – Schema planimetrico dell'area rilevata nella prima campagna di rilevamento realizzata nel gennaio 2010 con indicazione dei punti di stazione.

Questa diluizione nel tempo del lavoro ha da un lato costituito un problema, soprattutto per l'allineamento delle nuvole di punti prodotte nelle diverse sessioni, ma, dall'altro lato, ha fornito un'occasione preziosa di sperimentazione di tecniche di allineamento alternative e tecniche di confronto tra nuvole di punti omologhe acquisite in tempi

diversi per il confronto e il monitoraggio di macro modificazioni, trasformazioni, aggiunte o perdite di materia che possono intervenire tra i due momenti temporali diversi dello stato di fatto.

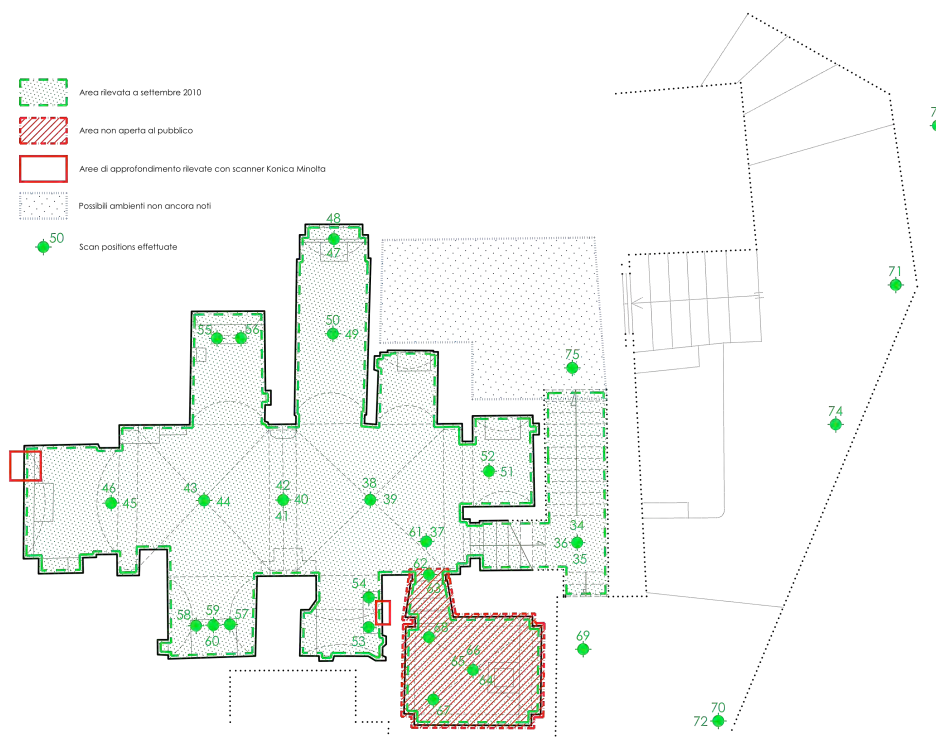


Fig.2 – Schema planimetrico dell'area rilevata nella seconda campagna di rilevamento realizzata nel settembre 2010 con indicazione dei punti di stazione.

Il lavoro compiuto sul campo con lo scanner Riegl LMS Z390 a tempo di volo, a cui è stata montata una fotocamera Nikon D200 per l'acquisizione automatica dei dati cromatici, riguardano innanzitutto la messa a punto di procedure in grado di consentire un rilevamento dimensionale completo della Cattedrale e di tutte le membrature esterne e interne, comprese le superfici di copertura e la Cripta sottostante. Considerata la consistenza e la complessità spaziale del manufatto, il conseguimento di questo obiettivo già costituisce un primo risultato importante, soprattutto se si considera che il rilevamento è stato condotto da una sola persona (al netto degli ausili logistici) in una decina di giorni di lavoro effettivo distribuiti nell'arco delle tre sessioni temporali, producendo un totale di 104 scansioni tutte debitamente allineate con deviazione standard inferiore alla risoluzione dello scanner che è circa 5-6mm.

Acquisita una rete topografica di riferimento per la georeferenziazione delle scansioni, il primo problema procedurale che si è dovuto risolvere è stato quello del corretto allineamento delle nuvole di punti acquisite, che, con il sistema Riegl, viene di preferenza effettuato con l'ausilio di targets riflettenti da inserire nella scena di ripresa. Tale sistema, opportunamente messo a punto nelle procedure, non ha comportato particolari problematiche se non quella di dover progettare con cura la posizione dei targets in modo tale da renderli visibili dalla maggior parte delle stazioni previste, e questo non sempre è operazione agevole a causa di ostacoli che si frappongono o la particolare geometria da rilevare. Tuttavia, tale sistema rende possibile eseguire allineamenti automatici con un'accuratezza maggiore della risoluzione dello strumento.



Fig.3 - Schema planimetrico dell'area rilevata nella terza campagna di rilevamento realizzata nell'ottobre 2010 con indicazione dei punti di stazione.

Il lato negativo dell'allineamento mediante targets, è che rallenta il lavoro complessivo a causa del tempo che occorre nel posizionare i target correttamente nella scena e il tempo che impiega lo scanner per acquisire la posizione di ciascun targhet visibile. Con questo sistema, infatti, si

arriva impiegare, in media, anche 30 o 40 minuti effettivi per ogni stazione, contro i 5 minuti circa che impiega lo scanner a produrre la sola scansione, aumentando anche la probabilità che qualcuno passi nella scena di ripresa o sposti un target proprio mentre lo scanner è al lavoro, e costringendo a ripetere le operazioni.

Può succedere, poi, che uno o più target di riferimento, importanti per la connessione di una catena di allineamenti, si spostino di una quantità ignota, non consentendo di proseguire la registrazione automatica. In tal caso si deve procedere manualmente all'allineamento attraverso il riconoscimento di punti omologhi nelle due nuvole da allineare. Tale tecnica, tuttavia, se non coadiuvata da appositi softwares detti MSA (Multi Station Adjustment) che utilizzano sofisticati algoritmi di calcolo per rendere la procedura semi-automatica, risulta molto lunga e restituisce allineamenti con errori molto elevati..



Fig.4 – Nuvola di punti complessiva delle superfici di copertura della Cattedrale

Questo inconveniente è stato sperimentato sul campo quando, completata la prima sessione di lavoro, nel gennaio 2010, siamo stati costretti ad attendere fino a settembre 2010 prima di ritrovare le condizioni favorevoli per realizzare la sessione successiva. Nonostante, avessimo

ampiamente previsto una tale eventualità, premunendoci di lasciare tracce dei targets principali e dei punti topografici, dopo ben nove mesi ogni traccia era completamente scomparsa, costringendoci a sperimentare, in laboratorio, l'applicazione di tecniche di allineamento manuale senza l'ausilio di MSA.

Le condizioni metereologiche, che avevano impedito la prosecuzione del lavoro nei mesi successivi alla prima sessione di gennaio, hanno suggerito di programmare le sessioni seguenti in mesi più caldi, che, tuttavia, sono anche quelli di maggior afflusso turistico al castello.



Fig.5 – Nuvola di punti complessiva dell'esterno della Cattedrale

La seconda sessione, dunque, è stata realizzata a settembre e si sono eseguite 46 scansioni della Cripta per descriverne accuratamente l'interno e poterne collegare la posizione rispetto all'esterno della Cattedrale attraverso l'angusto passaggio d'ingresso.

A ottobre 2010, divesi giorni di tempo stabile e soleggiato, hanno consentito di completare il rilevamento con la terza campagna di lavoro che ha prodotto circa 25 scansioni di cui 18 per descrivere la parte perimetrale esterna lungo i camminamenti che circondano la Cattedrale ed effettuare la connessione con le sessioni precedenti e 7 per rilevare le

coperture dai terrazzi dei corpi di fabbrica che ricadono nelle proprietà adiacenti.

In questo caso abbiamo potuto sperimentare la straordinaria efficacia dello scanner nel rilevare a distanza superfici altrimenti inaccessibili.

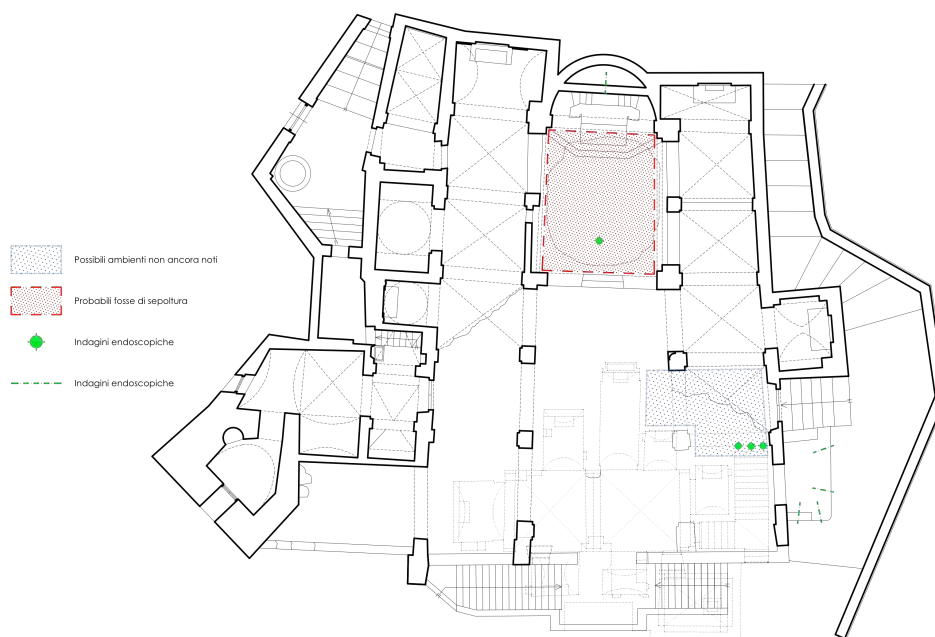


Fig.6 - Planimetria con l'indicazione delle perforazioni sottili effettuate per l'indagine endoscopica.

Parallelamente al rilevamento con lo Scanner Riegl, si è avuta l'opportunità di realizzare anche delle indagini endoscopiche in particolari punti della Cattedrale dove, attraverso notizie storiche raccolte dalla famiglia Mattera, derivanti da alcuni accadimenti fortuiti, e ragionamenti fatti in situ, si sospettava l'esistenza di ambienti non ancora conosciuti.

Tale indagine, è stata realizzata effettuando alcune mirate e semplici perforazioni sottili (1,2 cm di diametro) e ha evidenziato l'esistenza di alcune probabili fosse di sepoltura sotto il pavimento rialzato del transetto, l'esistenza di un'intercapedine intonacata o affrescata tra l'emiciclo dell'abside e la tompagnatura settecentesca dell'altare e alcuni vuoti non meglio riconoscibili a circa 1m al di sotto del pavimento della navata laterale destra.

Tali saggi hanno evidenziato l'esistenza di vuoti di varia natura al di sotto del pavimento della cattedrale che varrebbe la pena indagare attraverso una eventuale campagna di rilievo con il Georadar.

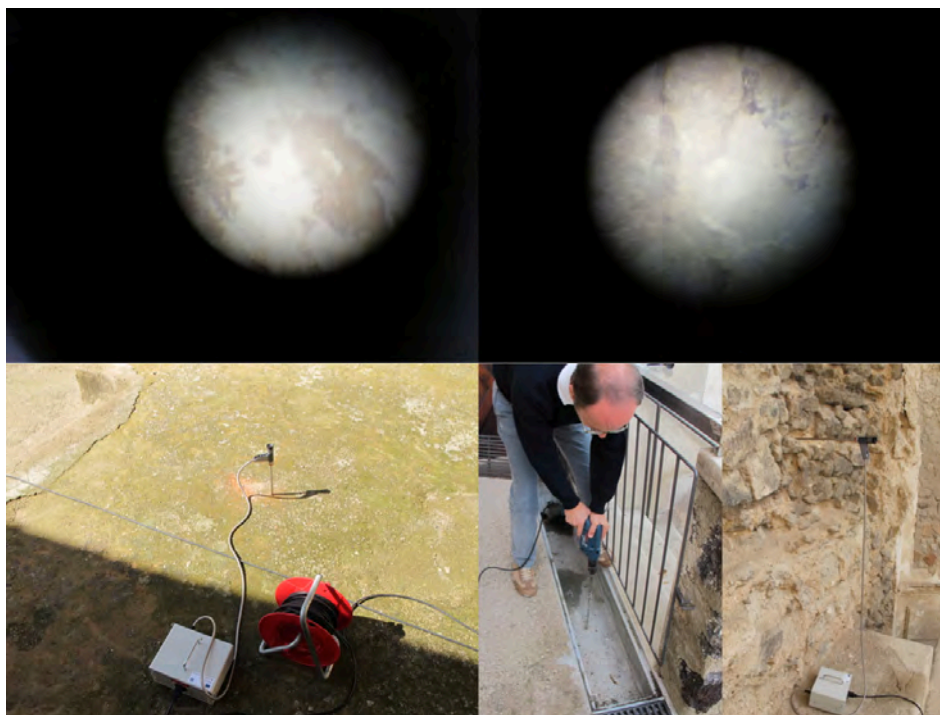


Fig.7 – Saggi endoscopici effettuati in alcuni punti della pavimentazione

In conclusione, a causa della complessità geometrica del sito, delle difficoltà logistiche e delle caratteristiche tecniche dello Scanner utilizzato, è stato necessario un totale di 104 scansioni e una decina di giorni di lavoro effettivi per acquisire l'intera Cattedrale, a meno delle cappelle e degli ambienti inaccessibili.

Vanno fatte, a questo punto, alcune importanti considerazioni.

Innanzitutto ci si chiede se sarebbe stato possibile realizzare lo stesso risultato con un numero inferiore di scansioni.

Va osservato, infatti, che di queste 104 scansioni alcune (circa 5) sono stazioni di sovrapposizione e collegamento eseguite per la necessità di riagganciarsi alle diverse sessioni, altre sono ridondanti (di sicurezza) eseguite per controllo e connessione, altre sono state rifatte per alcune problematiche insorte durante l'esecuzione (passaggio di turisti, disturbi ambientali, insufficiente disposizione dei targets, ecc.).

Già attraverso queste osservazioni appare subito possibile ridurre il numero di scansioni, seppur di poco, ottimizzando il lavoro, ad esempio, condensando tutto in un'unica sessione, cosa possibile solo lavorando in più persone e, magari, con più scanner contemporaneamente, oppure avendo più tempo continuato a disposizione.

La considerazione più importante, però, riguarda la scelta della strumentazione e delle tecnologie da utilizzare.

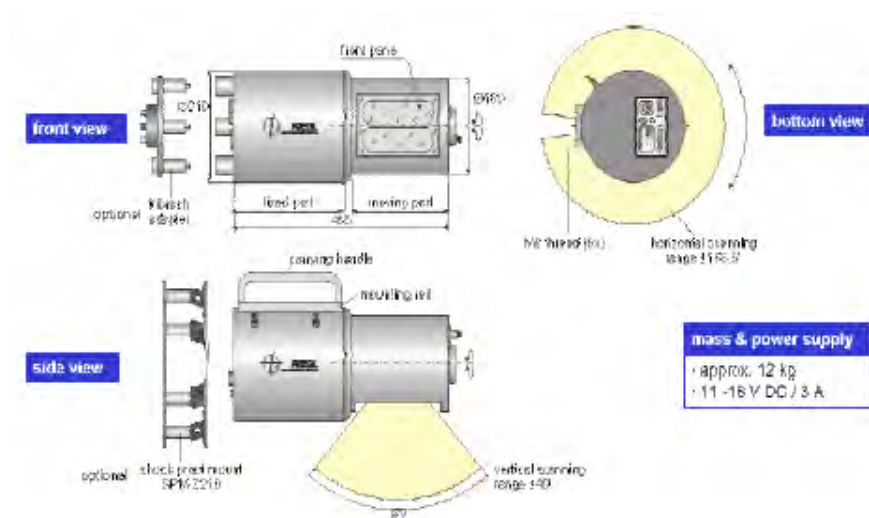


Fig.8 - Scanner laser Riegl LMS-Z390

Lo scanner in dotazione, il Riegl LMS - z390, con cui è stato effettuato il rilevamento, è, infatti, uno scanner a impulsi laser con tecnologia a tempo di volo e di tipo "ibrido" (fig. 8)

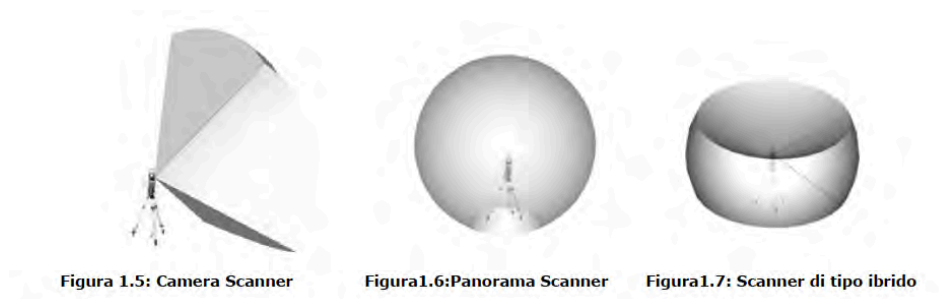


Fig.9 – Campi di ripresa dei laser scanner. Tipologie

Tale tipologia di scanner, scansiona lo spazio in modo cilindrico, ovvero ruotando su se stesso per 360° ma con un' apertura di scansione di 80°, dunque, come si vedrà dettagliatamente nel terzo capitolo, per ogni

scansione, genera due coni d'ombra uno superiore ed uno inferiore di ben 100° di apertura.

Questo significa che, nonostante la possibilità di inclinarlo a piacimento, mentre in esterno tale campo risulta sufficiente per la maggior parte delle applicazioni, a scala architettonica e ambientale, nel caso di ambienti interni risulta assolutamente inefficiente, in quanto, per descrivere in tutte le sue parti un ambiente chiuso di piccole dimensioni, come ad esempio una cappella o un ambiente voltato ecc., sono necessarie 2, 3 o anche 4 stazioni a seconda della complessità geometrica e delle dimensioni spaziali.



Fig.10 – Nuvola di punti colorata del transetto della Cattedrale

Infatti, a causa del fatto che il cono d'ombra è maggiore dell'area di ripresa, è facile riscontrare che quanto più gli oggetti sono vicini, più il campo visivo risulta ridotto, ne consegue che più piccolo è l'ambiente, maggiore è il numero delle scansioni necessarie per descriverlo.

Un maggior numero di scansioni comporta il dover progettare un'accurata disposizione di targets "locali" (solo per quel determinato ambiente) al fine di farli rientrare il più possibile nel campo di ripresa della maggior parte delle scansioni per poterle allineare tra loro.



Fig.11 – L'apertura di 80° del campo di scansione dello scanner comporta il dover effettuare almeno 3 scansioni per acquisire l'intera superficie di piccoli ambienti interni.

Ciò comporta che quanto più l'ambiente è piccolo, maggiore è il numero dei targets da inserire nella scena necessari per allineare le scansioni e maggiore è la possibilità di essere costretti ad effettuare diverse scansioni di prova (a vuoto) per vedere se il campo di ripresa è quello voluto, per tanto di gran lunga maggiore sarà il tempo che occorre per le operazioni e maggiore è la probabilità di commettere errori.

Un maggior numero di scansioni, ancora, vuol dire soprattutto un maggior numero di dati da elaborare e un maggior lavoro di post-produzione da effettuare sulle nuvole di punti.

Un maggior lavoro di post-produzione vuol dire maggior tempo di lavorazione, costi maggiori, una maggiore perdita di accuratezza e di "verità" dei dati.



Fig.12 – Nuvola di punti dell'esterno della Cattedrale

Considerando, dunque, che con lo scanner Riegl a disposizione, per ogni stazione sono necessari circa 30-40 minuti per effettuare tutte le operazioni a cui occorre aggiungere il tempo necessario per lo spostamento delle stazioni, per la progettazione e la sistemazione dei targets, considerando, ancora, che a questo va aggiunto il tempo e il costo

(lavoro) notevole che occorre per la ripulitura, il filtraggio e la 'elaborazione di ogni singola nuvola di punti in laboratorio, e, soprattutto, considerando che per ogni allineamento si perde inevitabilmente una certa percentuale di precisione e di "verità" dell'informazione, si può ben capire come, semplicemente utilizzando un'altra tipologia di scanner, come ad esempio uno scanner a "cupola" (panorama scanner, fig. 1.6) come ad esempio uno Z&F o un Leica HDS 6000 (entrambi scanner a differenza di fase), si riuscirebbe a coprire tutta l'area di ripresa di quel piccolo ambiente con una sola scansione molto velocemente, ottenendo una ben maggiore efficienza in termini di tempo e di lavoro e una ben maggiore accuratezza in termini di qualità della nuvola di punti e di "verità" del dato di origine.



Fig.13 – Nuvola di punti dell'interno della Cripta

In base all'esperienza acquisita e valutando il lavoro fatto, si può, quindi, affermare che nel rilevamento dell'interno della Cripta, ad esempio, dove con il Riegl LMS-Z390 sono state necessarie circa 35 scansioni, un panorama scanner a cupola ne avrebbe richiesto non più di 13, con un vantaggio enorme in termini di efficienza, facilmente valutabile in base a

quanto detto ed indipendente dalla specifica marca e modello dello scanner utilizzato.

La cosa si ribalta però per l'esterno, in quanto gli scanner "a differenza di fase" come quelli citati, non solo hanno una portata molto più limitata ma sono anche molto più sensibili alle condizioni ambientali rispetto a uno scanner con tecnologia "a tempo di volo" come il Riegl da me usato, e comportano problemi di "rumorosità" nel caso che le condizioni ambientali non siano quelle ideali, con ripercussioni sulla qualità del dato ottenuto.

Non è un caso, dunque, che gli scanner più attuali tentano di fondere le caratteristiche e i vantaggi di entrambe le tecnologie pur essendo, a loro volta, non ancora esenti da limitazioni.

Queste considerazioni, fatte in modo esemplificativo, rimandano, dunque, all'importanza che riveste, in tale ambito, la perfetta conoscenza dei campi applicativi di ogni singola tecnologia e strumentazione, conoscenza che consente di scegliere gli apparati tecnici più adeguati ad ogni determinato scopo. La scelta di quale apparato tecnico e tecnologia usare non solo non è dunque "neutrale", ma anzi risulta determinante ai fini dei risultati che si vogliono ottenere e vale, al momento attuale, la differenza tra il successo di un'operazione condotta nel modo più economico, corretto e utile possibile e l'insuccesso di un'operazione molto costosa e dagli esiti poco attendibili e, pertanto, inutili.

Tutto ciò, a sua volta rimanda alle considerazioni teoriche sviluppate nel secondo capitolo della ricerca, in particolare riguardo al rapporto tra scienza e tecnologia, al "problema della misura" e ai concetti di "precisione", "affinamento", "verità della misura" e "propagazione dell'errore".

4.2 Rilevamento di dettaglio con lo scanner laser a triangolazione.

Nella Campagna di rilevamento effettuata a settembre 2010, sono state eseguite due serie di scansioni con lo scanner a triangolazione konica-Minolta Vivid 910 al fine di sperimentare la delicata questione dell'affinamento dell'indagine con le tecnologie di cui ci occupiamo.



Fig.1 – Area rilevata con il laser scanner Konica Minolta

Come detto in precedenza¹, una delle caratteristiche delle tecnologie di rilevamento a produzione di nuvole di punti, è quella di lavorare quasi sempre al massimo della risoluzione demandando alle operazioni di laboratorio, il compito di ridurre e selezionare la grande quantità di dati raccolti sul campo. L'affinamento dell'indagine si realizza, pertanto, non più attraverso l'aumentare la risoluzione dello stesso strumento ma, semmai, utilizzando una tecnologia diversa, quella che è più idonea allo scopo preciso dell'indagine.

Questo comporta l'esigenza, per il restauratore, che vuole effettuare una particolare ricerca di approfondimento, di dover conoscere a priori tutta

¹ Crf. Cap II

la gamma di possibilità che le tecnologie offrono, al fine di saper scegliere quella più adeguata alle finalità.

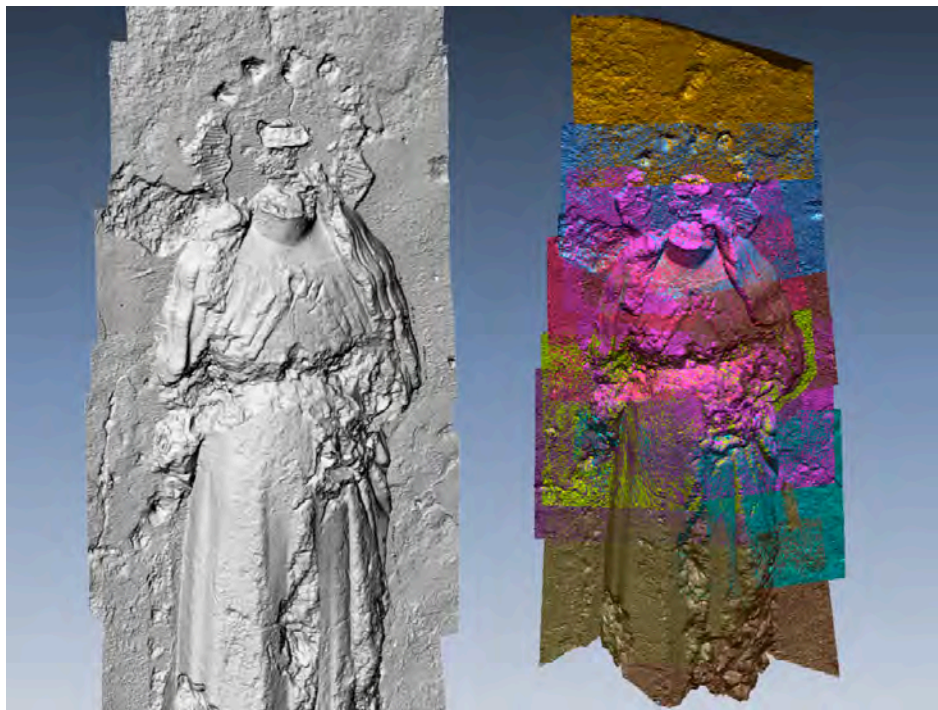


Fig.2 – Mesh della superficie scansionata con il laser scanner Konica Minolta e allineamento di alcune delle singole scansioni tramite algoritmi MSA.

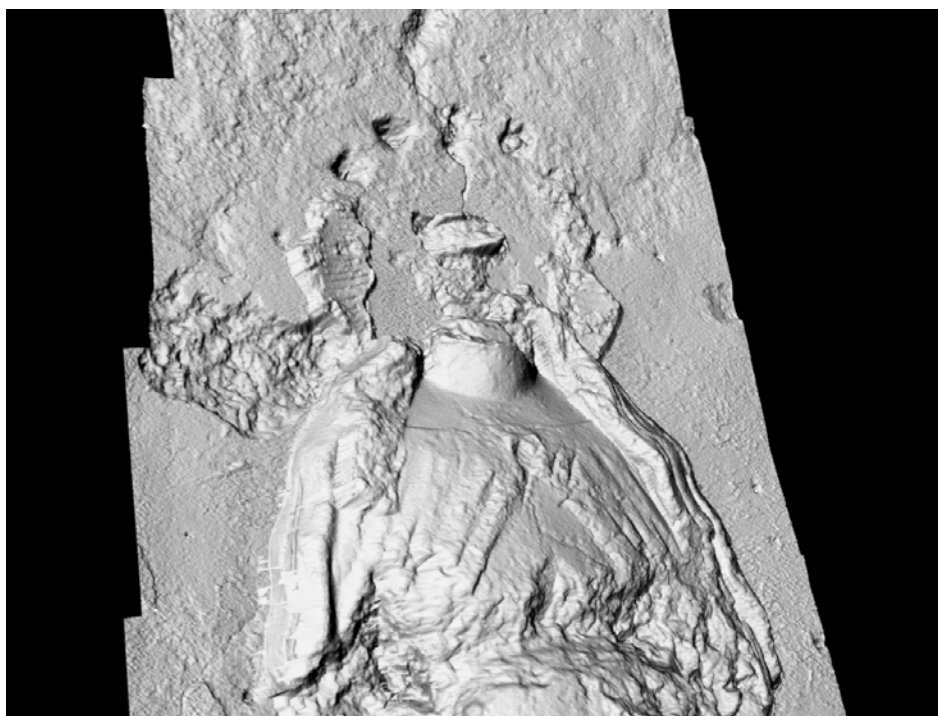


Fig.3 – Dettaglio della superficie senza l'informazione cromatica

Questa scelta non è, dunque, una scelta neutrale, meramente tecnica, è una vera e propria scelta interpretativa di conoscenza del manufatto, perchè da tale scelta dipenderà ciò che, attraverso il filtro strumentale, l'indagine sarà in grado di rivelare della “forma” del manufatto, riportando all'attenzione ciò che fino a quel momento giaceva nel regno della disattenzione.

Il rimando a quel “vedere intenzionale e direzionato” è qui quanto mai evidente così come ciò che è stato affermato nel II Capitolo a proposito della precisione.²



Fig.4 – Area scansionata con il laser scanner Konica Minolta

Per sperimentare l'evidenza di tali riflessioni si è deciso di utilizzare lo scanner a triangolazione Konica-Minolta Vivid 910 per rilevare alcuni

² Nell'atto stesso di misurare, di tradurre l'osservazione del reale in quantità numeriche, dunque, la “precisione” della misura, diviene, a sua volta, un fattore determinante attraverso il quale si disvela ancora una volta l'invisibile, elevando il grado di attenzione verso fenomeni che, pur visibili ad occhio nudo, rimarrebbero nascosti dall'approssimazione e dall'astrazione, o verso fenomeni che solo nel lungo periodo si evidenziano in modo macroscopico.

Spesso osservando la realtà in maniera superficiale o a una scala impropria, infatti, le cose appaiono in un certo modo che ad uno sguardo meno approssimativo si rivela completamente diverso; ciò che in un primo momento appare uguale si mostra diseguale, ciò che appare regolare si rivela irregolare.

particolari affrescati della cripta. In particolare sono state effettuate 8 scansioni di un'affresco di una delle cappelle laterali e 43 scansioni di una figura in rilievo sulla parete di fondo della cripta.

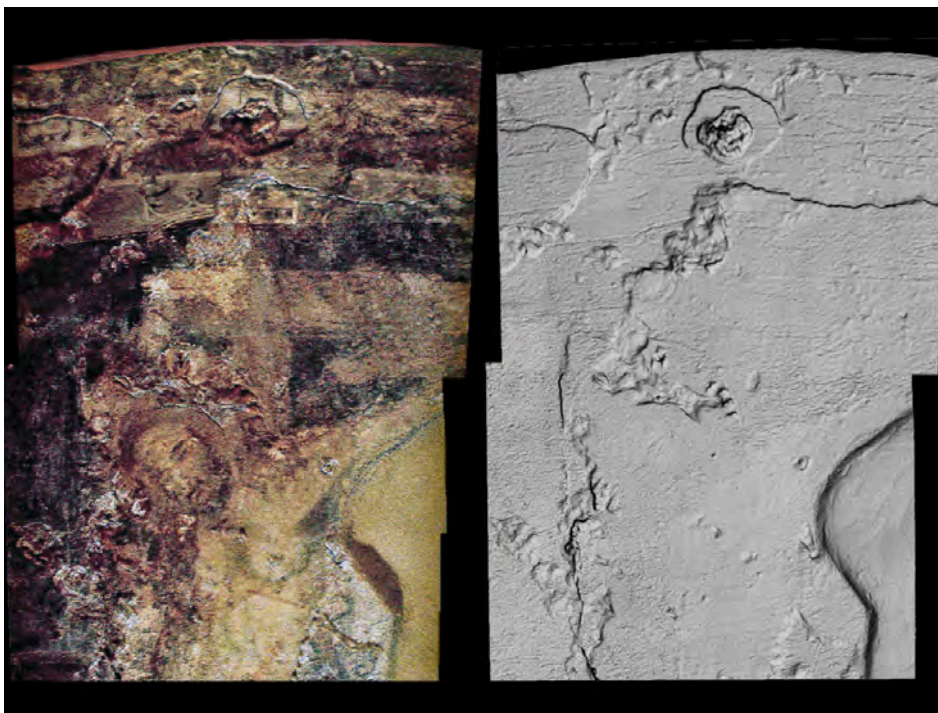


Fig.5 – Superficie dell'affresco con e senza informazione cromatica, si nota la sovrapposizioni dello strato di intonaco cinquecentesco sull'affresco del XII secolo.



Fig.6 – Dettaglio della Mesh senza informazione cromatica, Si può notare il rilievo delle pennellate che configurano il volto del Cristo attraverso lo spessore materico.

Il risultato è stato che attraverso l'analisi della superficie della nuvola di punti, trasformata in mesh per risaltarne la continuità e l'opacità, sono emersi particolari formali assolutamente invisibili ad occhio nudo, non perchè nascosti ma perchè impercettibili senza un filtro opportuno.

Il presupposto è che sebbene lo scanner a triangolazione abbia un principio di funzionamento diverso dallo scanner a tempo di volo, che è stato utilizzato per il rilevamento dell'interno della Cripta e l'esterno della Cattedrale, il prodotto nuvola di punti è pressochè identico in entrambi gli strumenti: entrambi restituiscono dei vettori posizione rispetto a un riferimento locale, entrambi associano a tali punti dei parametri RGB di colore. Tuttavia la risoluzione è radicalmente diversa: 5-6 mm per il Riegl, submillimetrica per il Konica Minolta.

Emerge allora che le diversità nell'informazione restituita da le due tecnologie è unicamente dovuto alla diversa risoluzione degli strumenti.

Analizzando le stesse porzioni di superficie restituite da entrambi, infatti, è bastato non visualizzare il fattore colore e concentrarsi sul dato formale superficiale, per far apparire in tutta la sua evidenza la capacità della "precisione" strumentale di rendere visibile l'invisibile.

4.3 La manipolazione diretta delle nuvole di punti

Terminato il rilevamento sul campo la sperimentazione si è trasferita in laboratorio. Ed è qui che si è potuto affrontare il vero nodo critico della ricerca.

Fino a questo punto, infatti, seppur con certe differenze che sono state in parte sottolineate, il nostro lavoro sul campo è stato analogo a quello che viene comunemente fatto nel campo del rilievo nella prima fase del lavoro, cioè la fase in cui i dati vengono acquisiti attraverso gli strumenti di rilevamento. Da questo punto in poi, però, le prospettive cambiano, il rilevatore elabora il dato per renderlo più maneggevole in funzione del suo intento di estrarre, da quel dato, una rappresentazione “mongiana” bidimensionale o tridimensionale a “fil di ferro” della realtà geometrica del manufatto, che altro non è che una interpretazione e una riduzione di ciò che il dato stesso contiene in termini informativi.

La nostra prospettiva, invece, è diametralmente opposta: a noi non interessa “semplificare il dato” se non per un qualche preciso scopo, ciò che interessa è, invece, cogliere nel dato, nella sua piena complessità, la “verità” del manufatto..

Beninteso il lavoro svolto sul campo ci ha permesso di sperimentare e mettere a punto procedure che ci hanno dato modo di verificare certe criticità e certi presupposti della ricerca, ma ciò che alla fine abbiamo ottenuto in situ, con questa sperimentazione, non è altro che l'insieme delle nuvole di punti che la macchina ha acquisito del manufatto, le stesse che avrebbe ottenuto un qualunque altro rilevatore che avesse operato con la nostra stessa cura e rigore metodologico.

Il dato, il documento dello stato di fatto del manufatto, relativo al momento in cui il documento è stato acquisito, non è altro che il risultato della misurazione automatica dello scanner, il risultato di scelte non interpretative che è improprio anche chiamare scelte, perchè scaturiscono da schemi precostituiti che nulla hanno a che vedere né con il manufatto né con noi che, con il nostro lavoro, altro non abbiamo fatto se non

mettere la macchina in condizione di lavorare. La macchina, dal canto suo, non ha fatto altro che mettere in opera le sue procedure tecnologiche, proiettare sul manufatto le sue griglie di punti laser con fare del tutto aleatorio, leggerne la risposta sotto forma di informazioni numeriche.

Possiamo dire allora che ci troviamo di fronte a qualcosa di completamente nuovo: abbiamo ottenuto col nostro lavoro un bagaglio di informazioni che però ancora non conosciamo, qualcosa che è in un certo senso “informazione pura” e che ancora deve passare attraverso il vaglio della nostra coscienza e della nostra interpretazione.

Per tale motivo, anche se sul campo avessimo operato scelte operative diverse, ugualmente corrette, circa la posizione da far assumere allo scanner, se avessimo adottato un'altro schema di posizionamento dei targets o altro, il risultato, cioè la nuvola di punti complessiva ottenuta, sarebbe stata sostanzialmente la stessa, perchè ciò che quei punti e quei numeri individuano non è altro che “la verità” dell'oggetto colto nella sua autenticità.

Questo ci offre un'opportunità unica che è quella di poter interrogare direttamente tale documento, autentico quanto è autentico il manufatto stesso, con la differenza che ciò che interroghiamo è già un modello numerico e come tale può essere interrogato, analizzato e manipolato con gli strumenti a noi congeniali della matematica.

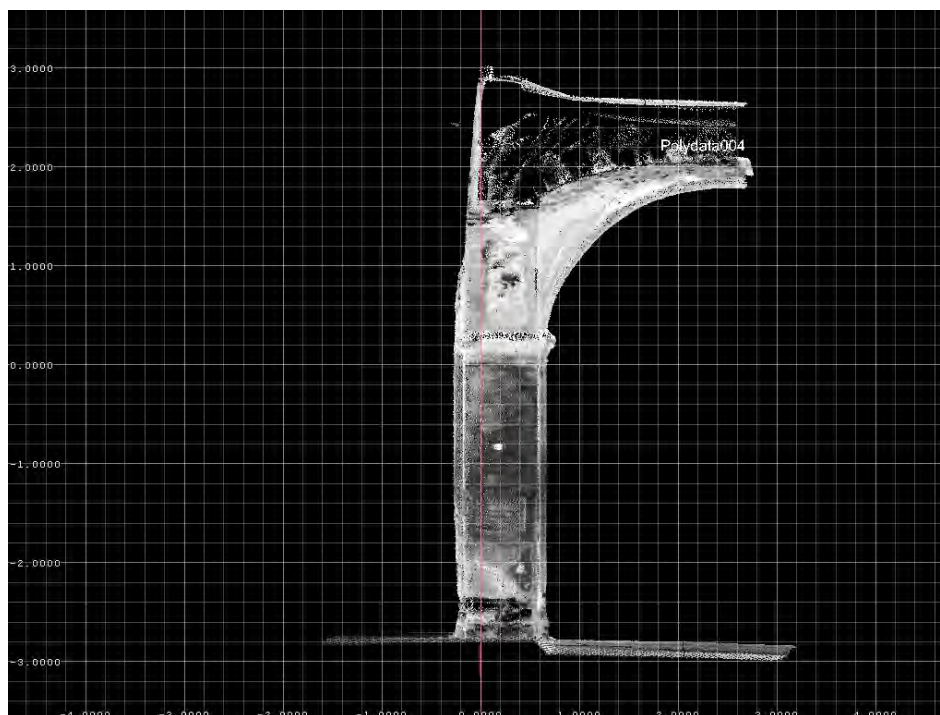
Cosa vuol dire interrogare matematicamente il dato? Vuol dire poter effettuare indagini mirate sul modello attraverso softwares di analisi, sfruttandone, cioè, tutta la complessità senza bisogno di semplificare o modificare il dato e soprattutto senza passare per elaborazioni intermedie quali le rappresentazioni del rilievo, che sappiamo essere già interpretazione e non si può interrogare un'interpretazione.

Partendo da questo presupposto abbiamo allora cercato di capire qual'è il ventaglio di possibilità che questa esperienza com-porta.

Dopo varie sperimentazioni abbiamo capito che in questo modo si apre un mondo di possibilità di analisi che appaiono efficaci soprattutto se mirate a precisi obiettivi d'indagine e limitati ad aree circoscritte del manufatto.

I campi di indagine che abbiamo individuato possibili con risorse informatiche ordinarie, sono essenzialmente i seguenti:

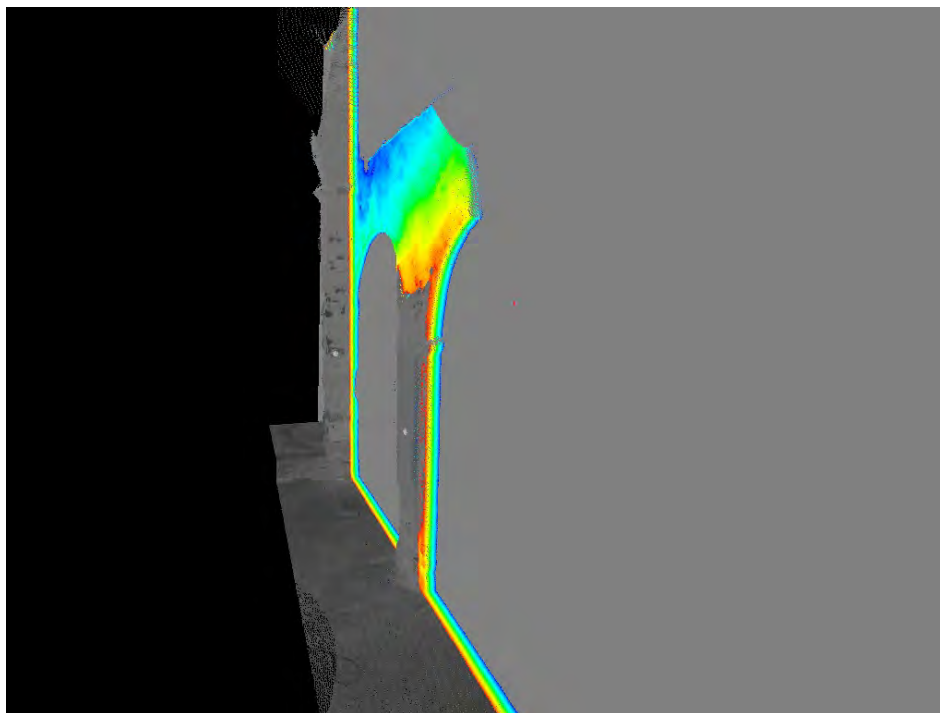
- analisi morfologiche: ovvero l'analisi della forma, l'analisi delle superfici e dei volumi in termini non solo geometrici e astratti ma soprattutto in termini effettivi e reali, con indagini diffuse, punto per punto.



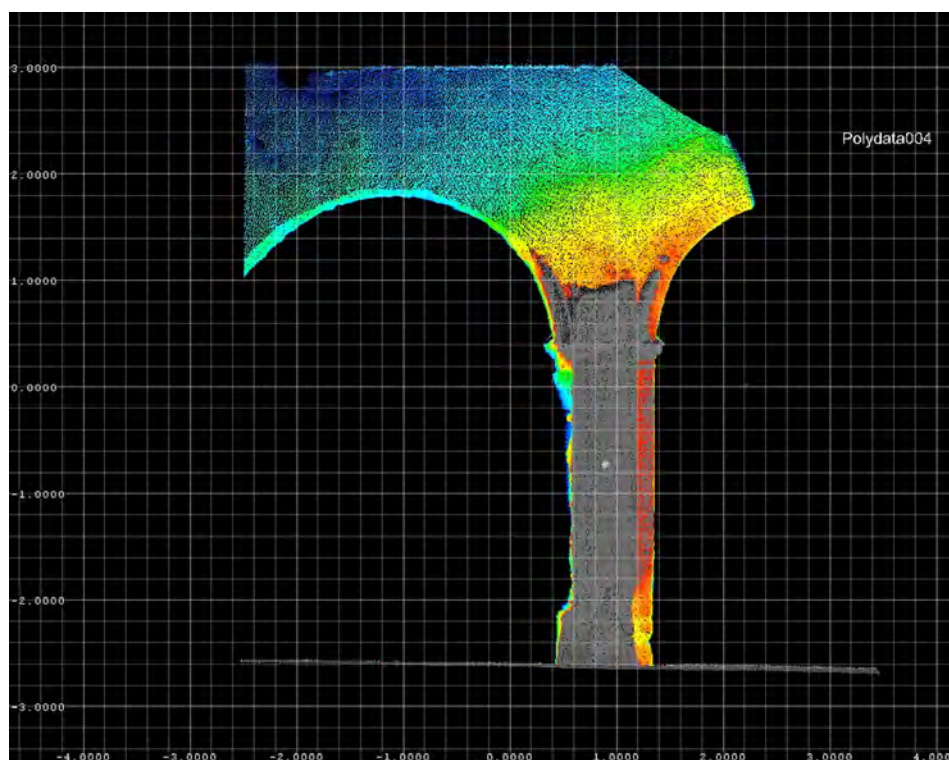
1. Analisi morfologica sulla deformazione di un pilastro della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia. Ortoproiezione del profilo con linea indicante il piano verticale ideale

A tale scopo, si sono potute operare analisi delle deformazioni e degli scostamenti dalle geometrie ideali attraverso il confronto, punto per punto, tra le superfici reali e superfici ideali costruite ad hoc, come nel caso di piani interpolatori, piani verticali, orizzontali ecc.

Si possono ottenere immagini molto efficaci colorando la nuvola di punti in funzione della distanza di ciascun punto misurato, della superficie reale, rispetto a un piano o una superficie ideale di riferimento.

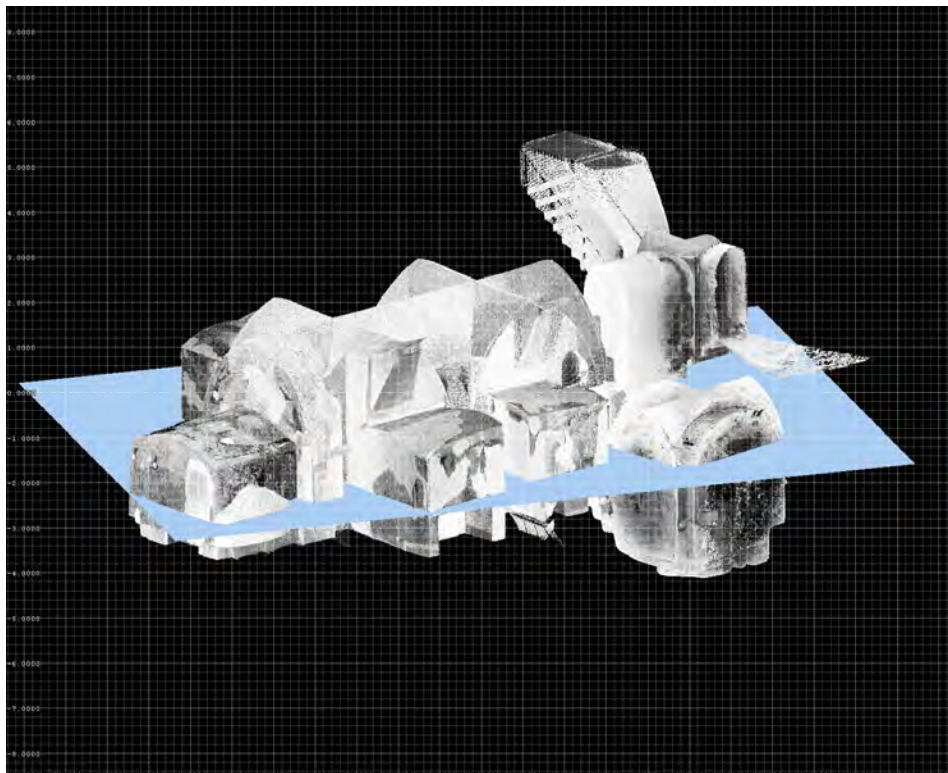


2. Analisi morfologica sulla deformazione di un pilastro della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia Costruzione del piano di riferimento

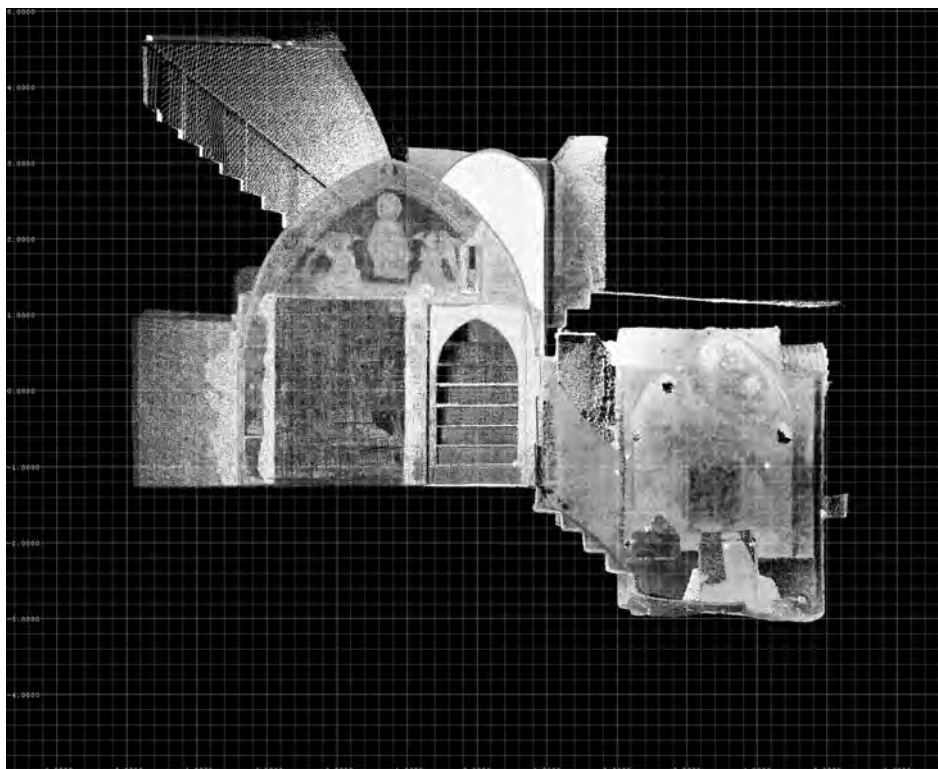


3. Analisi morfologica sulla deformazione di un pilastro della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia. L'immagine è stata ottenuta colorando la nuvola di punti in funzione della distanza di ciascun punto misurato, della superficie reale, rispetto a un piano ideale di riferimento.

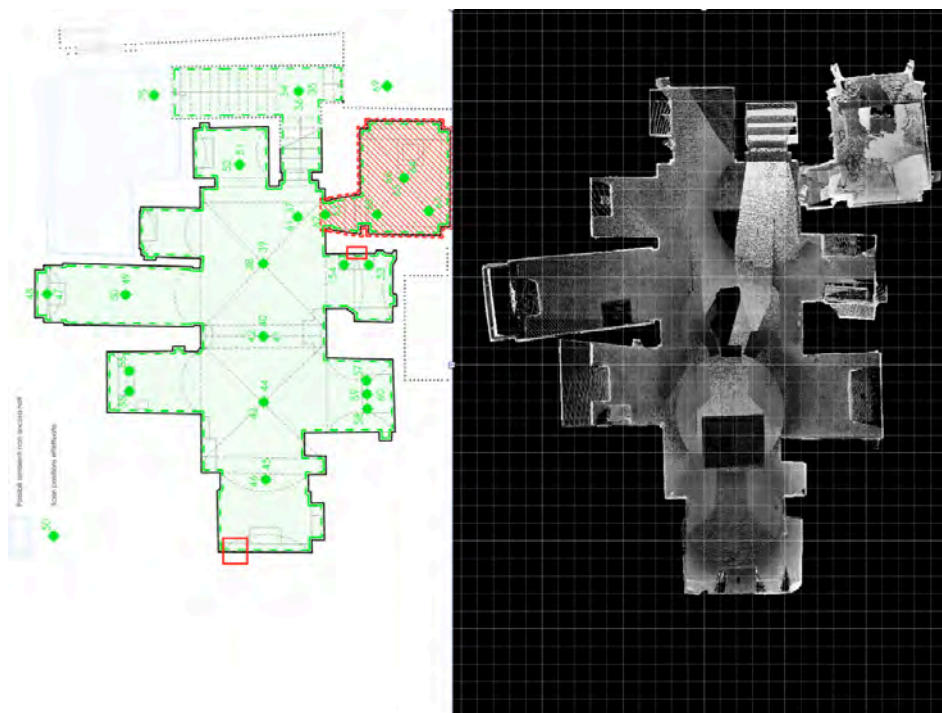
- l'estrazione di informazioni metriche direttamente dalle nuvole di punti, senza la necessità di rappresentazioni grafiche intermedie (estrazione di misure lineari, volumi, estrazione di profili e sezioni, ortoproiezioni reali



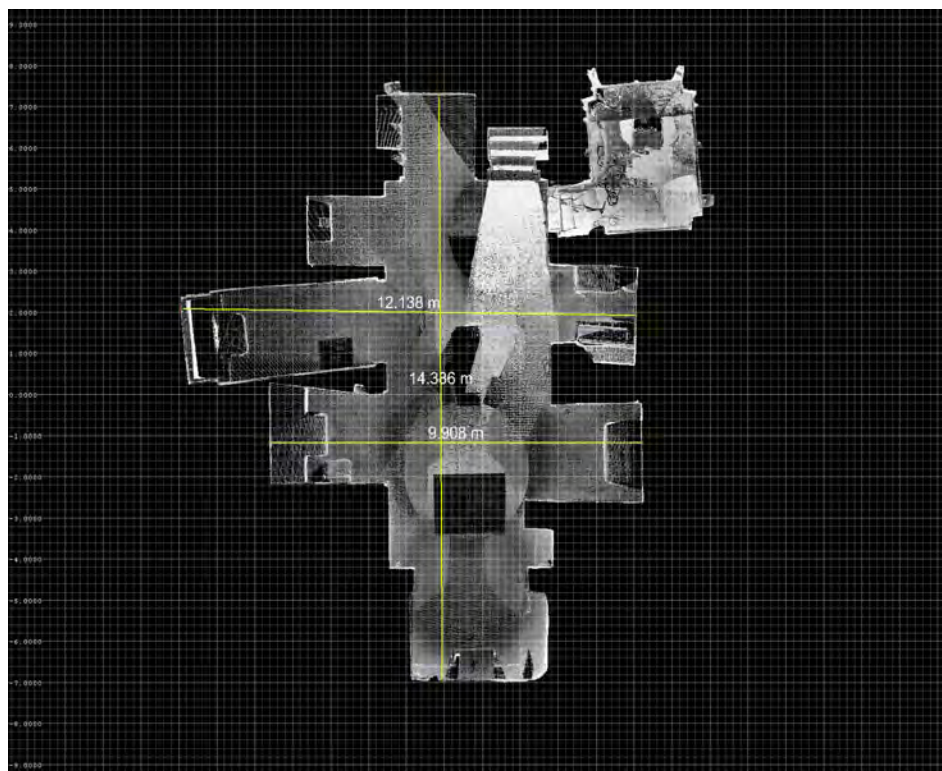
4. Costruzione di piani secanti orizzontali e verticali per la sezione della nuvola di punti della Cripta.



5 Ortoproiezione reale della nuvola di Punti della Cripta sezionata trasversalmente

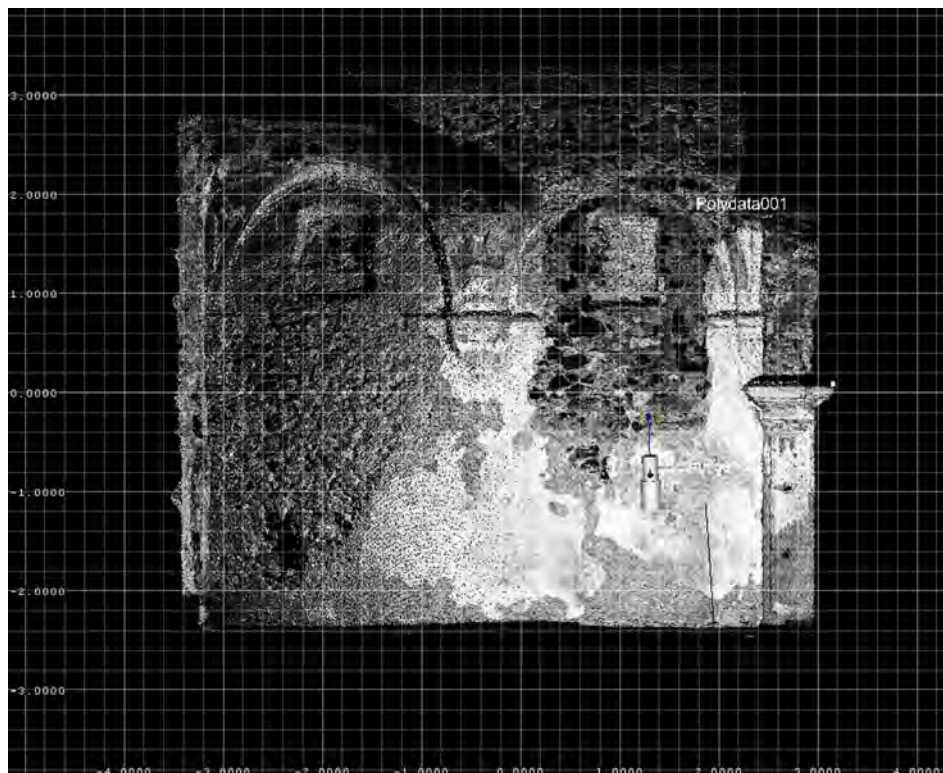


6. Confronto tra il rilievo fornito per il recente concorso di riconfigurazione della Cattedrale e l'ortoproiezione della sezione orizzontale della nuvola di punti della Cripta

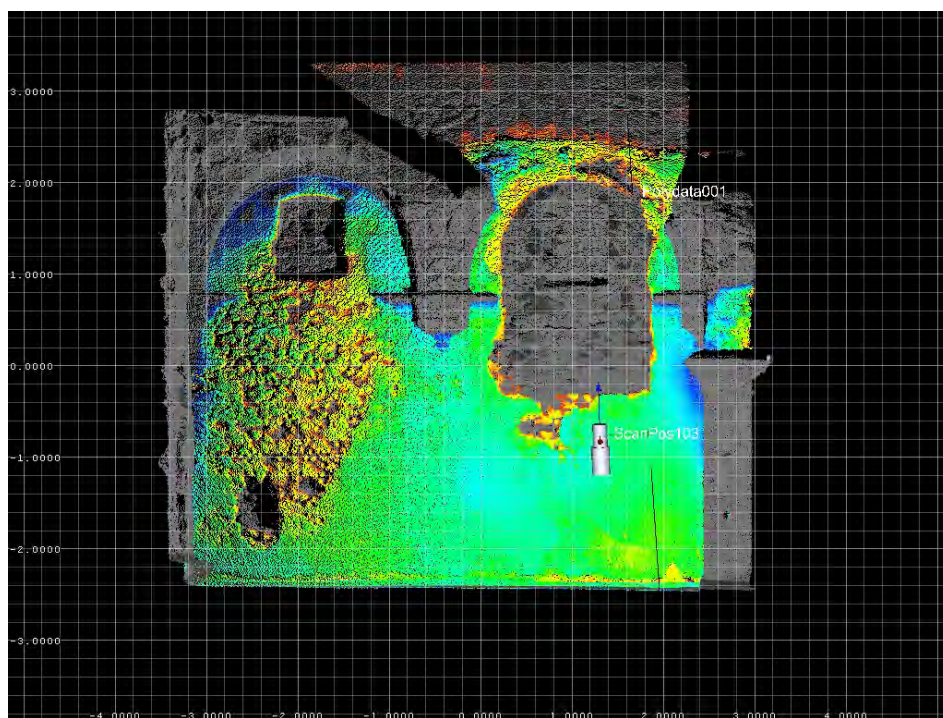


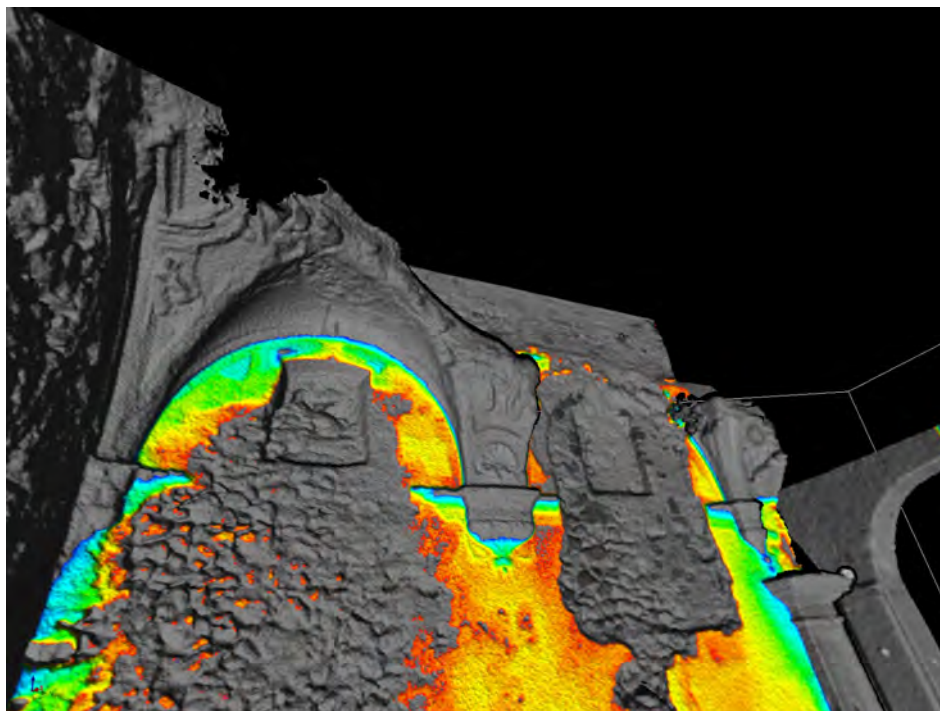
7 ortoproiezione della sezione orizzontale della nuvola di punti della Cripta con estrazione manuale di misure metriche.

- l'analisi “qualitativa” delle superfici, sempre espressa in termini quantitativi, punto per punto, relazionata direttamente e automaticamente all'analisi della forma reale.



8. Analisi della superficie intonacata di una parete della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia. L'immagine è stata ottenuta colorando la nuvola di punti in gradazioni di grigio in funzione della “riflettanza” (radiometria) di ciascun punto della superficie analizzata.



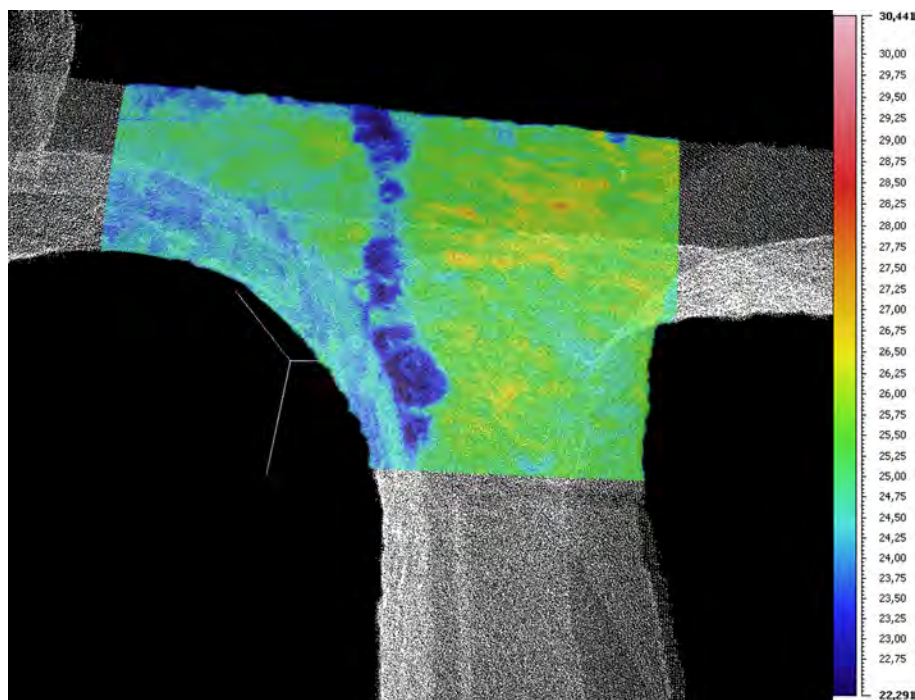


10 Analisi della superficie intonacata di una parete della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia. L'immagine è stata ottenuta colorando la nuvola di punti in funzione della distanza da un piano di riferimento ideale

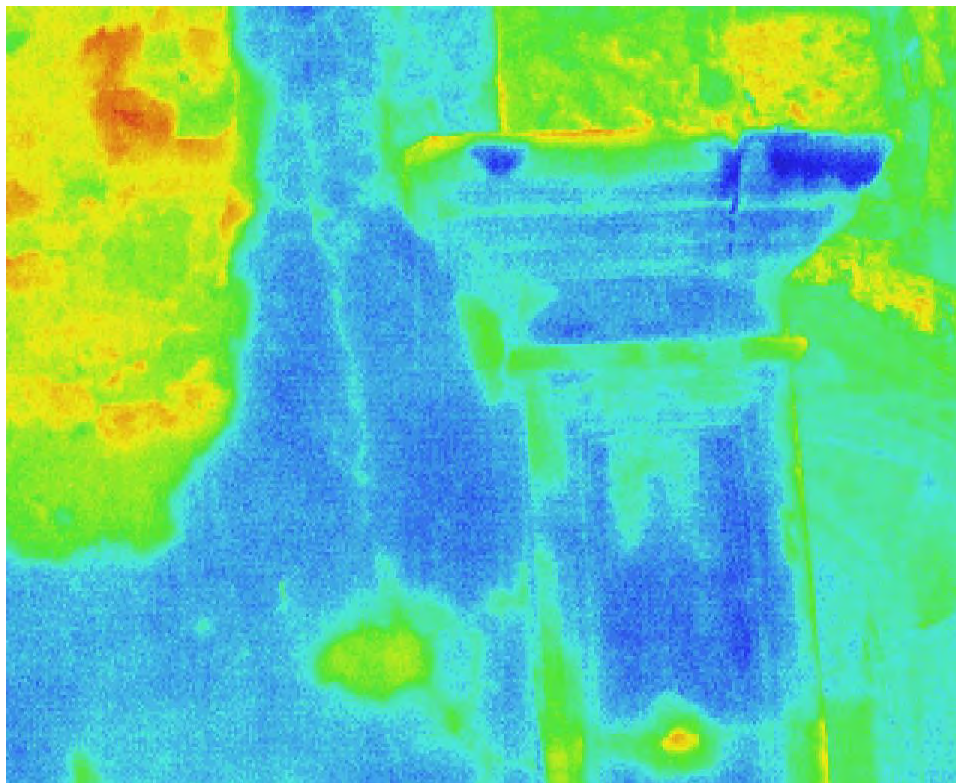


11 Analisi morfologica sulla deformazione di un pilastro della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia. L'immagine è stata ottenuta colorando la nuvola di punti in funzione della distanza di ciascun punto misurato, della superficie reale, rispetto a un piano ideale di riferimento.

- alcune forme di analisi qualitativa e d'integrazione fra tecnologie orientate alla conoscenza metrica e materica del manufatto ai fini della sua conservazione. (laser scanner, fotografia, termografia).



12. Analisi delle infiltrazioni d'acqua piovana su un pilastro esterno della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia. L'immagine è stata ottenuta colorando la nuvola di punti con un'immagine termografica scattata in seguito a una breve pioggia.

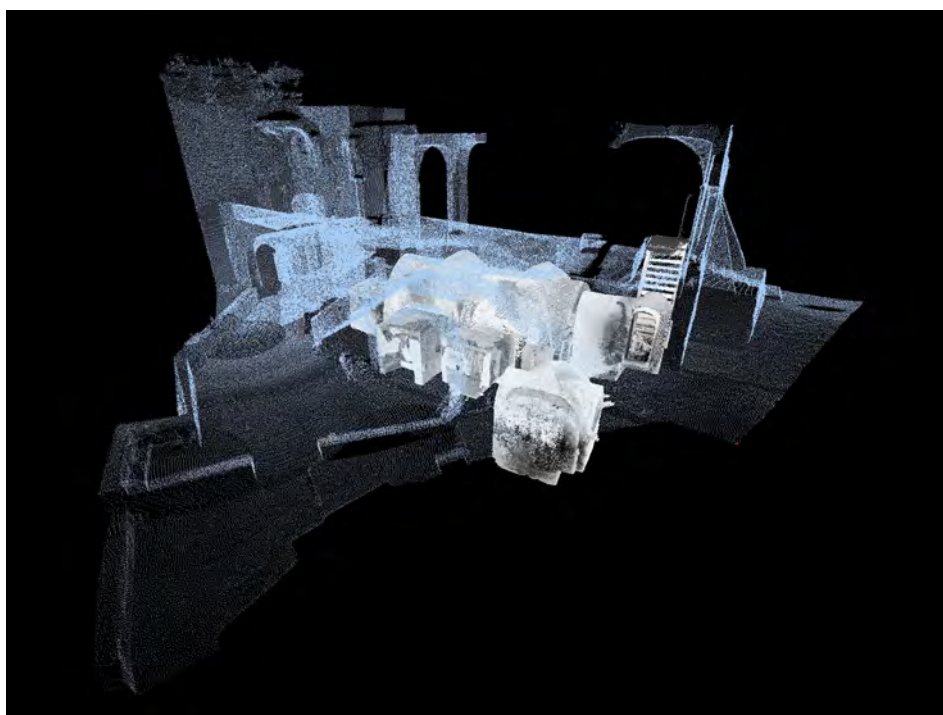


13. Analisi dell'aderenza degli intonaci tramite termografia.

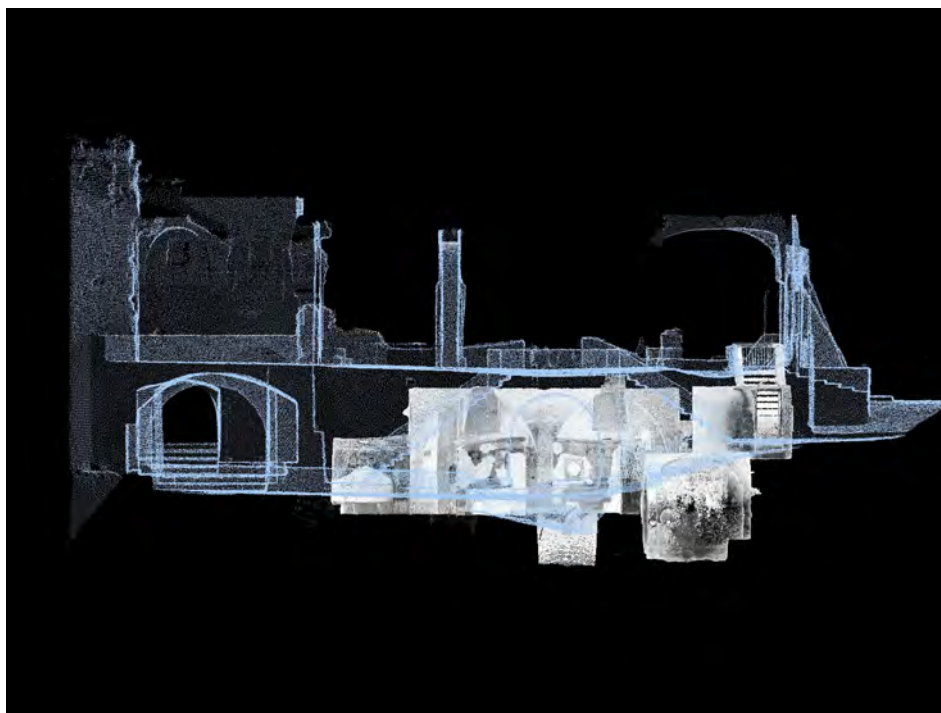
- Il riscontro dell'imprevisto e la messa in evidenza del non-visibile



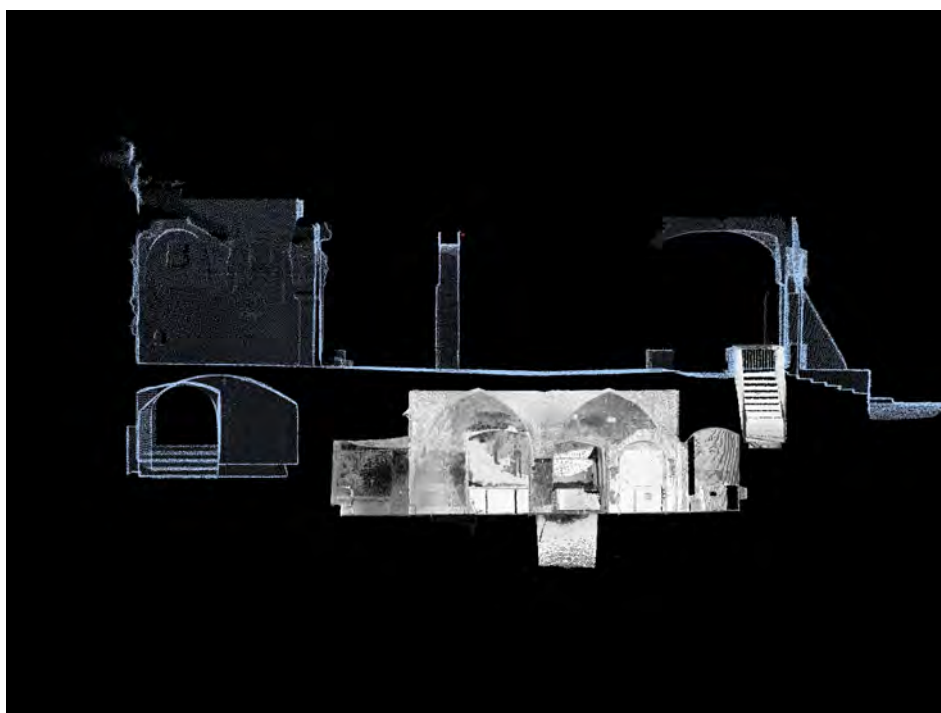
14. Visualizzazione delle relazioni planimetriche tra la cripta della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia e l'esterno della cattedrale. L'immagine è stata ottenuta segmentando la nuvola di punti in due parti, colorando e riducendo la densità della parte relativa all'esterno della Cattedrale per renderla trasparente rispetto alla parte della cripta.



15. Visualizzazione delle relazioni planimetriche tra la cripta della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia e l'esterno della cattedrale.



16. Visualizzazione delle relazioni tra la cripta della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia e l'esterno della cattedrale. L'immagine è stata ottenuta segmentando la nuvola di punti in due parti, colorando e riducendo la densità della parte relativa all'esterno della Cattedrale per renderla trasparente rispetto alla parte della cripta.



17. Visualizzazione delle relazioni tra la cripta della Cattedrale dell'Assunta nel Castello Aragonese di Ischia e l'esterno della cattedrale. Sezione

4.4 I risultati delle sperimentazioni

Il primo risultato di tale sperimentazione, è quello di aver dimostrato come grazie all'automazione mensoria, è possibile realizzare un rilevamento di grande complessità anche col lavoro di una sola persona, al netto delle ovvie necessità logistiche prima accennate.

Le difficoltà, naturalmente, non sono mancate, ma sono dipese da fattori esogeni quali la necessità di avere il campo di rilevamento sempre sgombro da ostacoli mobili, come persone e turisti che attraversano la scena di rilevamento, problemi metereologici, oppure difficoltà più direttamente riguardanti la specifica tecnologia utilizzata, che si è dimostrata efficace in molte occasioni ma problematica in altre, come avremo modo di osservare più dettagliatamente. Altra fonte di problemi è stata la necessità di affinamento delle procedure d'uso, il cui know-how è stato in gran parte acquisito in sperimentazioni di laboratorio ma si è potuto consolidare solo attraverso la sperimentazione sul campo richiedendo continui adattamenti alle diverse situazioni che mano mano si presentavano.

E' questa la ragione principale che ci induce a parlare non tanto di automazione mensoria come processo non interpretativo, ma come processo "tendenzialmente" non interpretativo, ancora lungi dall'essere compiutamente realizzato.

L'applicazione sperimentale ha permesso di verificare direttamente sul campo l'applicabilità delle conclusioni a cui si è giunti attraverso la riflessione teorica portata avanti in precedenza, e confermate, fino a questo momento, solo in alcune isolate e fortuite sperimentazioni presenti nella letteratura scientifica, delle quali si sono analizzati alcuni casi.

Il riscontro sul campo è stato ovviamente decisivo, in quanto è stato realizzato dopo un normale periodo di apprendistato e di sperimentazione in laboratorio. Esser riusciti a portarla avanti senza ausili esterni, seppur tra mille difficoltà, già di per se ha dimostrato che l'utilizzazione e la manipolazione delle nuvole di punti, sebbene richieda l'acquisizione di un certo know-how è alla portata di qualsiasi architetto restauratore e di

qualsiasi figura professionale anche se priva di una specifica formazione tecnica.

La sperimentazione ha di fatto confermato l'applicabilità delle ipotesi teoriche, cioè la possibilità di acquisire un dato metrico di grande complessità morfologica con relativa semplicità e la possibilità di manipolare e interrogare tale dato immediatamente e direttamente senza ulteriori passaggi interpretativi e senza la necessità di competenze specifiche se non quelle culturali del restauratore.

E' stato possibile infatti realizzare:

- analisi morfologiche: ovvero l'analisi della forma, l'analisi delle superfici e dei volumi in termini non solo geometrici e astratti ma soprattutto in termini effettivi e reali, con indagini diffuse, punto per punto.
- l'estrazione manuale, semi automatica e automatica di informazioni metriche dalle nuvole di punti (misure lineari, volumi, estrazione di profili e sezioni, ortoproiezioni reali ecc..)
- l'analisi "qualitativa" delle superfici, sempre espressa in termini quantitativi, punto per punto, relazionata direttamente e automaticamente all'analisi della forma reale.
- alcune forme di analisi qualitativa e d'integrazione fra tecnologie orientate alla conoscenza metrica e materica del manufatto ai fini della sua conservazione. (laser scanner, fotografia, termografia).
- Il riscontro dell'imprevisto e la messa in evidenza del non-visibile

Altre forme possibili di analisi, invece, hanno ricevuto conferma dallo studio di casi esemplari scelti tra quelli presenti nella letteratura scientifica:

- La possibile integrazione coi sistemi di calcolo agli elementi finiti
- la costruzione agevole di complessi sistemi informativi multilivello, automaticamente e intrinsecamente georeferenziati.
- nuove possibili forme evolute di rappresentazione, come la realtà virtuale o la prototipazione solida.- nuove possibili forme di documentazione, il rilevamento tri-dimensionale di manufatti sia esistenti che non più esistenti o alterati, attraverso fotografie bidimensionali attuali o storiche.

Considerazioni conclusive

Attraverso le argomentazioni teoriche, gli esempi applicativi selezionati e la sperimentazione diretta, la ricerca ha dimostrato come i più recenti avanzamenti strumentali e in particolare la possibilità di realizzare una reale automazione sensoria nel campo del rilevamento architettonico, costituisca, potenzialmente, un reale avanzamento per la pratica del restauro, non soltanto per gli indubbi vantaggi operativi, ma soprattutto perché tale avanzamento si dimostra particolarmente congruente alle fondamentali istanze teoriche della conservazione.

Potenzialmente perché, nella pratica attuale, i modalità di utilizzo di tali tecnologie non sono ancora del tutto aderenti a tali finalità, bensì tendono a rispondere a esigenze per lo più operative ed economiche, spesso disperdendosi in un puro “tecnicismo” fine a se stesso.

Oggi, infatti, tali avanzamenti vengono usati per facilitare il lavoro di rilevamento sul campo, traducendo le nuvole di punti raccolte in rappresentazioni grafiche del tutto tradizionali, questo è ciò che viene richiesto nel “mercato” professionale.

La ricerca dimostra, invece, come tale pratica, non solo risulta inadatta allo stesso scopo (per il gran lavoro di post-produzione necessario e i tempi lunghi richiesti) ma si rivela anche del tutto inadeguata alla reale portata innovativa del prodotto informativo in questione.

Nella “traduzione” dei dati in rappresentazioni grafiche tradizionali “a fil di ferro”, infatti, si contraddicono e si perdono drasticamente le caratteristiche più importanti e innovative quali “l’oggettività” del dato, l’intrinseca tridimensionalità, la diffusione e la densità della misurazione, il controllo dell’intorno d’incertezza, ecc.

La ricerca dimostra, invece, come esista la possibilità concreta di un utilizzo alternativo di tali avanzamenti tecnologici, che sfrutti meglio le caratteristiche intrinseche del prodotto informativo a tutto vantaggio non solo della pratica, ma soprattutto delle finalità e delle istanze della conservazione e quindi della qualità del progetto di restauro;

dimostra come questo uso alternativo può essere realizzato attraverso l’interrogazione diretta delle nuvole di punti, in funzione di ben specifiche finalità d’indagine, senza dover necessariamente subire o attendere i vari passaggi interpretativi del rilievo.

In tal modo, è possibile:

- disporre di una documentazione “oggettiva” non interpretativa dello stato di fatto di un manufatto, ad uso sia del cantiere della conoscenza ai fini del progetto di restauro, sia della trasmissione al futuro di tale documento o di ulteriori possibili elaborazioni (future o contemporanee) per finalità diverse, ivi comprese, ad esempio, il monitoraggio o la ricostruzione virtuale.
- disporre di un dato metrico univoco immediatamente, sfruttando la velocità di acquisizione sul campo degli strumenti, senza subire i lunghissimi tempi di post-produzione necessari per estrarre rappresentazioni grafiche dalla nuvola di punti. Si può operare direttamente sul dato acquisito e solo dove interessa la specifica indagine tematica.
- “integrare” i dati metrici della nuvola di punti con altri dati eterogenei, altrettanto “oggettivi” provenienti da altre tecnologie particolarmente utili al cantiere della conoscenza, come la fotografia, la fotografia multispettrale, la termografia, il georadar ecc., spesso anche in modo del tutto “automatico” e in perfetta congruità con la più attuale esigenza del restauro di procedere per approcci integrati, favorendo la nascita di nuove forme di indagini e di rappresentazione utili alla pratica del restauro.

Rimane aperta una questione:

Negli obiettivi della ricerca ci siamo chiesti se l'utilizzo delle più avanzate tecnologie di rilevamento incida non solo sulla pratica del restauro ma anche sul suo campo “teorico”.

Dai risultati della ricerca la risposta non appare immediata poiché sembrerebbe che tali avanzamenti tecnologici incidano in termini innovativi soprattutto sul momento dell'informazione più che su quello della sua interpretazione.

Tuttavia, sappiamo che a monte del processo di connotazione del manufatto architettonico, c'è una ben precisa intenzionalità che determina ed informa tutto il processo, e questa intenzionalità, nel restauro, coincide con la finalità della conservazione dei valori del manufatto attraverso l'intervento sul documento reale, autentico.

Il Conoscere per conservare, non è un conoscere fine a se stesso ma è un conoscere finalizzato all'intervento di restauro.

Ne consegue che è impossibile scindere il momento dell'acquisizione del dato dal momento culturale da cui scaturisce “l'atto d'interpretazione critica” che sta alla base delle scelte d'intervento e quindi della teoria del restauro.

La risposta, pertanto, appare, tendenzialmente positiva, anche se, visto lo stato attuale, e non potenziale, delle cose dovrà essere necessariamente verificata nel lungo periodo.

Bibliografia

1746, **Batteux Ch.**, *Les Beaux Arts réduits à un meme Principe*, Paris, Durand; trad. it. *Le Belle Arti ricondotte ad un unico principio*, a cura di E. Migliorini, Palermo, Aesthetica, 1990

1947, **Brandi C.**, *Sulla filosofia di Sartre*, in *l'immagine*, a. I, n. 4, settembre-ottobre e n.5, novembre-dicembre.

1849/1880/1984, **Ruskin J.**, *Le sette lampade dell'architettura*, Jaca Book

1881, **William Morris**, *Prospects of Architecture in Civilization*,

1911, **Simmel G.**, *Die Ruine*, in *Philosophische Kultur* Werner Klinkhardt, Leipzig 1911, trad. it. di G Carchia, *La rovina*, in *Rivista estetica*", a. XXI, n.8, 1981

1938-39, **G. C. Argan**, *Restauro delle opere d'arte. Progettata istituzione di un gabinetto centrale del restauro*, in "Le Arti", a. I, fasc. II, 1938-39

1939-1986, **Brandi C.**, *Il Restauro: teoria e pratica*, a cura di Michele Cordaro, Editori Riuniti (Roma 1995)

1939, **Pane R.**, *Architettura dell'età barocca in Napoli*, EPSA editrice politecnica

1943, **Pane R.**, *A proposito di estetica dell'architettura*, in *Architettura e arti figurative*, in M Civita (a cura di), *Attualità e dialettica del restauro*, Solfanelli, Chieti, 1987

1945, **Brandi C.**, *Elicona I, Carmine o della Pittura*, E. Scialoja Editore, Roma

1947, **Brandi C.**, *Sulla filosofia di Sartre*, in "L'immagine", a. I, n.4, settembre-ottobre

1956, **Brandi C.**, *Arcadio o della scultura, Eliante o dell'architettura*, Torino, Einaudi; nuova ed. Roma, Editori Riuniti

1957, **Bonelli R.**, *La storia dell'architettura come critica d'arte*, in atti del V convegno nazionale di storia dell'architettura (Perugia 23 settembre 1948), Centro studi per la storia dell'architettura, R. Nocchioli, Firenze

1961, **Kilpatrick F.P.**, *Explorations in Transational Psychology*, New York

1961, **Benjamin W.**, *Illuminationen*, Suhrkamp, Frankfurt am Mein

1963-2000, **Benjamin W.**, *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica, Arte e società di massa*, Piccola Biblioteca Einaudi (2° ed., Einaudi, Torino 2000)

- 1963, **Brandi C.**, *Teoria del restauro*, Edizioni di storia e letteratura, Roma (2° ed., Einaudi, Torino 1977)
- 1963, **Enciclopedia Universale dell'Arte**, vol. XI, Sansoni, Firenze
- 1964, **J.P.Sartre**, *L'imaginaire. Psychologie phèénoménologique de l'imagination*, Gallimard, Paris 1940, trad. it. Immagine e coscienza, Psicologia fenomenologica dell'immaginazione, Einaudi, Torino.
- 1965, **Argan G.C.**, *Strutturalismo e critica*, inchiesta a cura di C. Segre, nel Catalogo Generale 1958-1965, Il Saggiatore, Firenze
- 1966, **Roberto Pane**, *L'antico dentro e fuori di noi*
- 1966, **Pareyson L.**, *I problemi dell'estetica*, Marzorati, Milano
- 1967, **Foucault M.**, *Le parole e le cose*, Milano
- 1967, **Brandi C.**, *Struttura e architettura*, Torino, Einaudi
- 1968, **M. Heidegger**, *Sentieri interrotti* (Holzwege), Firenze
- 1970, **De Fusco R.** *Storia e struttura, teoria della storiografia architettonica*, E. S. I., Napoli
- 1971, **Piaget J.**, *L'epistemologia genetica*, Universale Laterza, Bari
- 1972-89, **Benjamin W.**, *Gesammelte Schriften*, 7 voll., Suhrkamp, Frankfurt am Mein. 2000 ss. *Opere complete*, 9 voll., trad. It. Torino, Einaudi
- 1972, **Foramitti H.**, *Mesures de sécurité et d'urgence pour la protection des biens culturels*, ICCROM, Centre International d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels, Roma
- 1972, **Popper K.R.**, *Intervista a Karl Popper sul metodo ipotetico deduttivo*
- 1972, **Popper K.R.**, "Epistemologia senza soggetto conoscente" in "Epistemologia, razionalità e libertà", Roma
- 1972, **Kubler G.**, *La forma del tempo, Considerazioni sulla storia delle cose*. Nuovo Politecnico 83, Einaudi 1976, 2a ed., 1981
- 1974, **Brandi C.**, *Teoria generale della critica*, Einaudi, Torino
- 1981, **Scarroccia S. (trad. ita. a cura di)**, *Il culto moderno dei monumenti. Il suo carattere e i suoi inizi*, Nuova Alfa Editoriale, Bologna,. Sull'opera di Riegl
- 1983, **Carchia G.**, *Tempo estetico e tempo storico in Walter Benjamin*, in L. Belloi, L. Lotti (a cura di), *Walter Benjamin. Tempo storia e linguaggio*, Editori riuniti, Roma
- 1983, **Di Stefano R.**, *John Ruskin, interprete dell'architettura e del restauro*, ESI Napoli
- 1983, **Gadamer H.G.**, *Verità e metodo*, a cura di G.Vattimo, Bompiani, Milano

- 1984, **Docci M., Maestri D.**, *Il rilevamento architettonico*, Editori Laterza, Roma-Bari
- 1985, **Assunto R.**, *Storia dell'arte come filosofia*, in *Il pensiero critico di Giulio Carlo Argan* (Studi in onore di Giulio Carlo Argan, vol. III), Multigrafica, Roma
- 1985, **M. Heidegger**, *La questione della tecnica*, Milano
- 1987, **Aveta A.**, *Materiali e tecniche tradizionali nel Napoletano*, Arte Tipografica, Napoli.
- 1987, **Civita M.(a cura di)**, *Roberto Pane, attualità e dialettica del restauro*, Solfanelli ed.
- 1987, **De Seta C.**, *La cultura architettonica in Italia tra le due guerre*, Electa, Napoli
- 1988-2004, **Deleuze G.**, *La Piega, Leibniz e il barocco*, Piccola Biblioteca Einaudi (2° ed., Einaudi, Torino 2004)
- 1988, **Pareyson L.**, *Filosofia dell'interpretazione*, antologia di scritti a cura di Marco Ravera, Rosenberg&Sellier, Torino
- 1988, **Pareyson L.**, *Estetica. Teoria della formatività*, XI ed. 2010, Bompiani, Milano
- 1989, **Aveta A.**, *Restauro architettonico e conoscenza strutturale*, Arte Tipografica, Napoli
- 1989, **Gleick J.**, *Caos*, RCS Rizzoli Libri
- 1990, **AA.VV.**, *Atti della XI giornata della misurazione*, Centro di cultura Scientifica A.Volta di Villa Olmo a Como.
- 1990, **Carbonara G.**, *Il restauro fra conservazione e ripristino. Note sui più attuali orientamenti di metodo*, in "Palladio", n.s., II, 6, pp.43-76
- 1990, **Di Stefano R.**, *Il consolidamento strutturale nel restauro architettonico*, ESI
- 1990, **Formaggio D.**, *Estetica, tempo e progetto*, Clup, Milano
- 1991, **Bonelli R.**, *Pane Innovatore di metodo dell'architettura e nel restauro*, in AA. Vv., *Ricordo di Roberto Pane, Atti dell'incontro di studi* (Napoli, 14-15 ottobre 1988), Napoli
- 1992, **Koirè A.**, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Torino
- 1992, *range views*. Computer Graphics, Proceedings of IEEE CVPR'92,

1992. **Soucy M., Laurendeau D.** *Multi-resolution surface modelling from multiple*
- 1993, **Bellini A.**, *Intervista a G.C.Argan*, in Tema n.1, p.61
- 1993, **Hugo V.**, *"autenticità" e "verità"*, in 'ANANKE', n.2 giugno
- 1993, **Mannoni T.**, *Dai dialoghi di Pantalone*, in Tema n.4
- 1993, **Marino L.**, *Il rilievo e la sua funzione nel restauro*, in Tema n.4
- 1993, **Torsello B.P.**, *La fabbrica e i segni: metodi analitici per l'architettura*, in Tema n.3
- 1993, **Vassallo E.**, *Le competenze di ingegneri e architetti nel restauro architettonico*, in Tema n.4
- 1994/2005, **Brandi C.**, *Il restauro*. A cura di Michele Cordaro, Editori Riuniti
- 1994, **Fassina V.**, *Attività del gruppo Normal F. Metodologie fisiche di laboratorio*, in Tema n.1
- 1994, **Formaggio D.**, *Separatezza e dominio nell'architettura*, Edizioni dell'arco, Milano
- 1994, **Salerno R.**, *Il rilevamento architettonico dei "materiali naturali"*, in Tema n.1
- 1994, **Torsello B.P.**, *Editoriale*, in Tema n.1
- 1994, **Nicoloso P.**, *"La Carta del Restauro" di G.C. Argan*, in "Annali di architettura", n.6, pp. 101-115
1994. **Turk G., Levoy M.** *Zippered polygon meshes from range images*.
- 1995, **Alessandrini G., Pasetti A.**, *Elenco ragionato delle raccomandazioni NORMAL (al 31.12.94)*, in Tema n.3
- 1995, **Carbonara G.**, *Il pensiero di Paul Philippot: un singolare contributo europeo*, in Tema n.1
- 1995, **Ranellucci S.**, *Ricerche ed esperienze sulla restituzione grafica per la conservazione*, in Tema n.3
- 1995, **Alois Riegl**, *Teoria e prassi della conservazione dei Monumenti*, *Antologia di scritti .. etc.*, a cura di Sandro Scarocchia, Accademia Clementina di Bologna
- 1995, **Scazzosi L.**, *Ancora sul Rilevamento architettonico dei "materiali naturali"*, in Tema n.3
1995. Technical Report VSSP-TR-5/95, October
1996. **AA.VV.** *Dossier: Un rilievo per il restauro? In TeMa nn. 3-4*
- 1996, **Brumana Raffaella**, *Rilievo e restauro*, in Tema 3-4,

- 1996, **Curless, B. and Levoy, M.**, "A volumetric method for building complex models from range images." In. Proceedings of SIGGRAPH '96, pp. 303-312. ACM
- 1996, **Di Stefano R.**, Monumenti e valori, ESI. Sull'opera di Riegl
- 1996, **Hilton A.**. *On reliable surface reconstruction from multiple range images*. ECCV '96 Proceedings of the 4th European Conference on Computer Vision-Volume I
- 1996, **Massari G.**, *Rilievo come conoscenza. Una forma di "Sim-patia" tra opera e interprete*, in Tema 3-4,
- 1996, **Massari G.**, *Le pratiche di misura, processi e strumenti*, in Tema 3-4,
- 1996, **Monti C.**, *Per una conoscenza metrica dell'Architettura*, in tema, 3-4,
- 1996, **Treccani G. P.**, *Presentazione*, in Tema, 3-4,
- 1996, **Ugo Vittorio**, *Rilievo e pro-duzione*, in Tema 3-4,
- 1997, **Carbonara G.**, *Avvicinamento al restauro, teoria, storia, monumenti*, Liguori Editore
- 1997, **Dezzi Bardeschi M.**, *Il restauro al tempo dei "tremuoti" (e dei mass media)* in 'ANANKE n.19
- 1997, **Fancelli Paolo**, *L'entità veritativa dello stato di fatto monumentale*, in 'ANANKE n.19
1997. **Garland M., Heckbert P.**. *Surface simplification using quadric error*
- 1997, **Guerra F., Thiene G.**, *La Rotonda di Palladio: una nuova campagna di rilievi*, in Tema 2-3,
- 1997, *La Carta del Rischio del patrimonio culturale (1997)*, Ministero BB.CC.AA., Ufficio Centrale per i Beni Archeologici, Artistici e Storici-ICR, ICR-Bonifica, Roma.
- 1997, **Monti C.**, *Conoscenza, Misura, Rilievo e Rappresentazione*, in Tema n°4
- 1997, **Pellarano D., Salvemini A.**, *Uno strumento per la diagnosi delle opere lignee. Penetrometro Resi*, in Arkos n.6
- 1997, **Torsello B. Paolo**, *La dialettica restauro/progetto*, in 'ANANKE n.19
- 1997, **Torsello A.**, *Una proposta di sistema per la gestione dei rilievi*. In (acura di Fresa M.): Santa Maria del Giglio: il restauro della facciata, Marsilio, Venezia.
- 1998, **Basile G.**, *Cesare Brandi e la ricerca scientifica per il restauro* in Cesare Brandi Teoria ed esperienza dell'arte, atti del convegno di Siena 12-14 nov. 1998, Silvana Editoriale

- 1998, **Bonsanti G.** *Riflessioni sintetiche sull'estensione di "restauro"*, in Cesare Brandi Teoria ed esperienza dell'arte, atti del convegno di Siena 12-14 nov. 1998, Silvana Editoriale
- 1998, **Carbonara G.**, *Progettare i restauri: l'apporto diagnostico*, in Tema n.2
- 1998, **Catalano M.I., Cerasuolo A.**, *Paul Philippot incontra il pensiero di Brandi. Il Memoire de licence en Histoire de l'Art et Archeologie* in Cesare Brandi Teoria ed esperienza dell'arte, atti del convegno di Siena 12-14 nov. 1998, Silvana Editoriale
- 1998, **Fancelli P.**, *Il restauro dei monumenti*, Nardini editore
1998. **De Floriani L., Puppo. E.**, *Constrained delaunay triangulation for multiresolution surface description*. Proc. of the 9th Intl. Conf. on Pattern Recognition,
- 1998, **Fiengo G., Guerriero L. (a cura di)**, *Murature tradizionali napoletane. Cronologia dei paramenti tra il XVI ed il XIX secolo, Napoli.*
- 1998, **Ikeuchi K., Wheeler D., Y. Sato.** *Consensus surfaces for modeling 3d objects from multiple range images*. Proceedings of ICCV 9'98, pp. 917-924.
- 1998, **Jurina L.**, *La torre di Carlo V in Martinsicuro. Diagnosi e progetto di consolidamento*, in Tema n.2
- 1999, **Cabrucci A.**, *Fotogrammetria digitale*, in Restauro n.147-148.
- 1999, **Menci L.**, *Fotorestituzione piana*, in Restauro n.147-148.
- 1999, **Menci L.**, *Fotorestituzione stereoscopica*, in Restauro n.147-148.
- 1999, **Petrini G.**, *Firenze, la cappella del Santo Sepolcro in San Pancrazio: il cantiere di studio e di restauro*, in ANAGKH n.27/28; pp. 20-34
- 1999, **Fiengo G., Guerriero L.**, *Mensiocronologia delle murature napoletane in tufo giallo (XVI-XIX)*, in D'avino S., Salvatori M. (a cura di), *Metrologia e tecniche costruttive (Atti della Giornata Nazionale di Studio, Pescara 1998)*, Roma, pp.29-36.
- 1999, **Ugolini A.**, *Il rilievo geometrico del paramento lapideo del Tempio Malatestiano*, in 'ANANKE n.27/28; pp. 68-83
- 2000, **Casiello S. (a cura di)**, *Restauro dalla teoria alla prassi*, ElectaNapoli
- 2000, **Casiello S.** *Restauri a Napoli nei primi decenni del '900*, in Restauro nn.68-69/1983
- 2000, **Monaco L. M.**, *Il consolidamento strutturale dei monumenti architettonici, cenno storico dall'antichità al XIX secolo*, ESI
- 2000, **Venneri D.**, *Un sistema d'indagine non invasivo: la visione termografica*, in M. Docci (a cura di), *Strumenti didattici per il rilievo, corso di strumenti e metodi per il rilevamento dell'architettura*, Roma, pp. 58-63

2000, **Urbani G.**, *Intorno al restauro*, a cura di Bruno Zanardi, Edizioni Skira, Milano

2001, **Achille C., Brumana R., Fregonese L., Monti C., Savi C.**, *Tecnologia Laser scanning: la basilica di San Lorenzo Maggiore a Milano*, Napoli

2001, **Balzani M., Gaiani M., Santopuoli N. Seccia L.**, *Acquisizione e restituzione di dati 3D e colorimetrici: elementi architettonici e parti di fabbrica del Colosseo*, in M. Docci (a cura di), *Gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro*, Roma, pp. 92-102

2001, **Bohler W., Heinz G., Marbs A.**, *The potential of non contact close range laser scanners for cultural heritage recording*, Postdam.

2001-2002, **Brusco N.**, *Metodi volumetrici per la costruzione di superfici tridimensionali*, Tesi di laurea, Università degli studi di Padova, dip. di elettronica ed informatica.

2001, **Carpiceci M.**, *Concetti generali e applicativi di fotogrammetria elementare*, in M. Docci (a cura di), *Gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro*, Roma, pp. 9-21.

2001, **Carpiceci M.**, *Sul raddrizzamento dei fotogrammi*, in M. Docci (a cura di), *Gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro*, Roma, pp. 175-178.

2001, **Guzzetti F., Bellomo S.**, *Rilevamento di una superficie voltata*, in 'ANANKE n.30.

2001, **Monaco L. M.**, *Il consolidamento strutturale dei monumenti architettonici nel XIX e XX secolo*, in "Restauro" nn. 155-156/2001, ESI.

2001, **Palestini C.**, *Indagini propedeutiche al progetto di restauro*, in M. Docci (a cura di), *Gli strumenti di conoscenza per il progetto di restauro*, Roma, pp. 309-313.

2001, **Rocchini C., Cignoni P., Montani C., Scopino R.**, *A low cost 3D scanner based on structured light*, Blackwell.

2001. **Simoncini G.**, *Gustavo Giovannoni e la scuola superiore di architettura di Roma (1920-1935)*, in Università degli Studi di Roma "La Sapienza", La Facoltà di Architettura dell'Università "La Sapienza" dalle origini al Duemila, a cura di V. Franchetti Pardo, Roma, Gangemi, pp. 45-53.

2002, **Bornaz L., Lingua A., Rinaudo F.**, *Il trattamento dei dati laser scanner nelle applicazioni terrestri*, Perugia.

2002, **Dezzi Bardeschi M.**, *"conservare, non restaurare" (Hugo, Ruskin, Boito, Dehio e dintorni). Breve storia e suggerimenti per la conservazione in questo nuovo millennio*, in 'ANANKE n.35-36.

2002, **Monaco L. M.**, *Problemi e metodi di intervento per il restauro strutturale: il caso delle strutture in legno*, in "Restauro" nn. 159/2002, ESI.

2003, **Achille C., Monti C.**, *Tecniche di rappresentazione tridimensionali*, in Restauro n.163.

- 2003, **De Fusco R.**, *L'idea di architettura*, Franco Angeli editore
- 2003, **Lingua A, Piumatti P, Rinaudo F.**, *Digital photogrammetry: a standard approach to cultural heritage survey*, ISPRS (ITA), Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives, ANCONA LUGLIO 2003, 2003, Vol. XXXIV-5/W12-V, pagine da 210 a 215
- 2003, **Maccarrone C.**, *Sistemi spettrometrici portatili. SIND*, in Arkos n.3.
- 2003, **Menci L.**, *Tecniche innovative di rilievo tridimensionale*, in Restauro n.163.
- 2003, **Remondino F.**, *From point cloud to surface: the modelling and visualization problem*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10.
- 2003, **Rocchi P. (a cura di)**, *Trattato sul consolidamento*, Mancosu, Roma
- 2003, **Vigato P. A.**, *L'attività del CNR nel campo della scienza e tecnologia dei beni culturali*, in Arkos n.3
- 2003, **Zanazzo P. A.**, *Il monitoraggio per la conservazione delle opere d'arte*, in Arkos n.3
- 2004 **Agosto E., Porporato C, Rinaudo F**, *L'immagine solida in rilievi a supporto del restauro*, In: GEOMATICA standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie, 8a Conferenza Nazionale ASITA, Roma 14 - 17 dicembre, 2004
- 2004, **Alessandrini G. Pasetti A.**, *L'elenco ragionato delle norme UNI-NorMaL*, in Arkos n.6
- 2004, **Binda L.**, *Diagnostica per il progetto di conservazione*, in 'ANANKE n.42; pp. 64-70
- 2004, **Bonora V., Spanò A.T.**, *Strutture voltate: rilievo laser scanning e modellazione delle geometrie*, e-Arcom - Tecnologie per comunicare l'architettura.
- 2004, **Comelli D. et al.**, *Una nuova strumentazione portatile per il monitoraggio: la fluorescenza per immagini*, in 'ANANKE n.41; pp. 84-95
- 2004, **Cozzolino E.** *Un nuovo metodo per la riproduzione degli oggetti d'arte: 3D SHAPE*, in Arkos n.8
- 2004, *Decreto legislativo (22 gennaio 2004, n. 42) recante il "Codice dei beni culturali e del paesaggio" ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*, Gazzetta Ufficiale 24 febbraio 2004, n. 45
- 2004, **Fiorani D.**, *Restauro architettonico e strumento informatico*. Guida agli elaborati grafici, Liguori, Napoli

- 2004, **Gruen A., Remondino F., Zhang L.**, *Photogrammetric Reconstruction of the great Buddha of Bamiyan, Afganistan*, The Photogrammetric record 19 (107): pp 177-199
- 2004, **Gruen A., Remondino F., Zhang L.**, *Automated modelling of the great Buddha statue in Bamiyan, Afganistan*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-3/W8, pp. 11-16. Invited Paper at ISPRS Conference 'Photogrammetric Image Analysis', September 2003, Munich, Germany
- 2004, **Gruen A., Remondino F., Zhang L.**, 3D Modelling and visualization of large cultural heritage sites at very high resolution: the Bamiyan Valley and its standing Buddhas.
- 2004, **Mannucci E., Zerbi G., Bellini A.**, *Nuove metodologie spettroscopiche per lo studio di protettivi per materiali lapidei*, in Arkos n.7
- 2004, **Meli P.**, *3D Laser Scannino, Parco valle dei templi di Agrigento*, in Recupero e conservazione n.58
- 2004, **Molinas B. et ali**, *Evoluzione della carbonatazione e del colore negli affreschi*, in Arkos n.7
- 2004, **Pecoraro I.**, *Tecniche semi-automatiche di Diagnosi assistita. Problemi di linguaggio e di metodo*, in Arkos n.8
- 2004, **Rodrigues J. D. et ali**. *Monitoraggio della biocolonizzazione e valutazione dell'efficacia di un biocida*, in Arkos n.7
- 2004, **Visconti Castiglione B.M.**, *Milano Duomo, I lavori di restauro della facciata*, in Recupero e Conservazione n.58
- 2005, **Accordo G., Cacace C., Rinaldi R.**, *Il Sistema Informativo Territoriale della Carta del Rischio*, in Arkos n.10
- 2005, **Amadori M.L. et ali**, *Indagini diagnostiche e restauro della statua lignea di San Nicola di Mira*, in Arkos n.13
- 2005, **Appolonia L.**, *Multimedial Information & design for Cultural Heritage*, in Arkos n.11
- 2005, **Aveta A.**, *Tecnologie innovative nel restauro architettonico tra normative e prospettive di ricerca*, in Arkos n.10
- 2005, **Aveta A., Casiello S., La Regina F., Picone R.**, *Restauro e Consolidamento*, Mancosu editore
- 2005, **Berardi A. et ali.**, *Trattamenti consolidanti e protettivi organici e inorganici applicati a intonaci. Confronti e considerazioni*, in Arkos n.11
- 2005, **Bartolomucci C.**, *Una proposta di "cartella clinica" per la conservazione programmata (basilica di Collemaggio a l'Acquila)*, in Arkos n.16/2005; pp. 59-65

- 2005, **Berteli C., Giusso C.**, *La Mappatura culturale della città vecchia di Genova. Dall'identificazione alla lettura della città*, in Arkos n.15
- 2005, **Berteli C., Giusso C.**, *La nuova ricognizione del Centro Storico nell'ambito della ricerca Restauro NET*, in Arkos n.15
- 2005, **Burlazzi G.**, *Schedature, censimenti, inventari: da un archivio di dati a uno strumento per l'analisi, la conoscenza, la previsione, l'intervento*, in Arkos n.13/2005; pp. 61-63
- 2005, **Buti A.**, *Perché certi edifici crollano: una lettura strutturale del centro storico di Genova (seconda parte)*, in Arkos n.9/2005
- 2005, **Buzzanca G.**, *Il ruolo degli standard nella documentazione grafica su base vettoriale*, in Arkos n.11
- 2005, **Calia A. et al.**, *Analisi degli intonaci della cappella del Calvario al Sacro Monte di Varallo*, in Arkos n.12
- 2005, **Casiello S. (a cura di)**, *La cultura del restauro, teorie e fondatori*, Marsilio, Venezia
- 2005, **Cuppini G. et al.**, *La diagnostica delle antiche costruzioni come strumento tecnico-progettuale. I portici di San Luca e degli Alemanni a Bologna*, in Arkos n.16/2005; pp. 40-47
- 2005, **Dezzi Bardeschi M.**, *Geomatica per la conservazione*, in ANAGKH n.46; pp. 126-133
2005. **Kant E.**, *Critica della ragion pura*, ed. a cura di P. Chiodi, UTET,
- 2005, **D'Ascola S.**, *SIRCoP: un sistema informativo per la conservazione programmata*, in Arkos n.9/2005
- 2005, **De Filippis E. et al.**, *Analisi degli intonaci della cappella del Calvario al Sacro Monte di Varallo*, in Arkos n.12
- 2005, **Donato D.**, *La diagnostica e la conservazione di manufatti lignei*, in Arkos n.13
- 2005, **Fiorani D.**, *Editoriale*, in Arkos n.13/2005; p. 3
- 2005, **Martinelli M.**, *Passato e futuro del 3D archeologico. Dalle foto stereoscopiche al computer per l'architettura antica*, in Arkos n.16/2005; pp. 19-23
- 2005, **Montagni C., Pasetti A.**, *Editoriale: La diagnostica intelligente*, in Arkos n.11
- 2005, *Norme tecniche per le costruzioni*, su G.U. n° 222 del 23 settembre 2005 di cui al D.M. 14 settembre 2005
- 2005, **Rattazzi A.**, *Monumento Ossario ai caduti partigiani alla Certosa di Bologna, Analisi chimico-fisico-strutturali finalizzate alla conservazione e restauro*, in Arkos n.16/2005; pp. 49-58

- 2005, **Salvo S.**, *Il restauro del Grattacielo Pirelli*, in Arkos n.10
- 2005, **Treccani G. P.**, *Meglio curare che prevenire. Per una manutenzione del costruito modulata sul soggetto*, in **ANAGKH** n.47; pp. 110-117
- 2005, **Treccani G.P.**, *Sul concetto di manutenzione* in Arkos n.9/2005;
- 1999-2000. **Andreetto. M. A. A.** *Tecniche di allineamento automatico di dati tridimensionali. Tesi di Laurea*, Università degli Studi di Padova,
- 2006, **Canevese E.P., Basso R.**, *La stereoscopia per la divulgazione del patrimonio culturale e per la fruizione museale*, in *Recupero e conservazione* n.67.
- 2006, **Canevese E.P., Basso R.**, *Ricostruzione virtuale di un museo ottocentesco, nuove tecnologie a servizio del patrimonio culturale*, in *Recupero e conservazione* n.70.
- 2006, **Coccoli C., Scala B.**, *Vilminore di Scalve (Bg): un piano di conservazione programmata*, in **'ANANKE** n.47; pp. 118-125.
- 2006, **Colombo C., Sansonetti A.**, *Le malte: composizione, tecnologia e classificazione 5, l'aggregato*, in *Recupero e conservazione* n.70.
- 2006, **Colombo C., Sansonetti A.**, *Le malte: composizione, tecnologia e classificazione 7, differenti tipologie di malte (parte prima)*, in *Recupero e conservazione* n.72.
- 2006, **P. D'Angelo**, *prefazione a Arcadio o della scultura, Eliante o dell'architettura* cit. pp. XXIV-XXV. a cura di L.M. Mimoso e J.R. Delgado, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbona, 2006.
- 2006, *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni*, Gangemi, Roma.
- 2006, **Marino B.G.**, *Restauro e autenticità. Nodi e questioni critiche*, ESI, Napoli.
- 2006, **Marino B.G.**, "Brandi and architecture: "astanza" and "recognition" of work of art/architecture", in *Atti del Seminario internazionale "Theory and Practice in Conservation. A tribute to Cesare Brandi"* (Lisbon, 4-5 may 2006), a cura di J. Delgado Rodriguez e J.M. Mimoso, Lisbon, 2006.
- 2006, **Proietti N. et ali.**, *Progetto Eureka, Risonanza magnetica per i beni culturali*, in *Recupero e conservazione* n.72.
- 2007, **Aveta A., Monaco L. M.**, *Consolidamento delle strutture in legno, diagnostica e interventi conservativi*, ESI.
- 2007, **Berlucchi N. et ali.**, *La Cappella della Sacra Sindone, Indagini sulla sua costituzione*, in *Recupero e conservazione* n.78.

2007, **Bortolotto C., Giambruno M.**, *Le superfici del “moderno”, Conoscenza e conservazione*, in *Recupero e conservazione* n.78.

2007, **Colombo C., Sansonetti A.**, *Le malte: composizione, tecnologia e classificazione 5, l'aggregato*, in *Recupero e conservazione* n.78.

2007, **Dezzi Bardeschi M.**, Quarant'anni di restauri a Milano tra teorie e pratica, in 'ANANKE n.50-51.

2007, **Dezzi Bardeschi M.**, Viaggio nell'Italia dei restauri, in 'ANANKE n.50–51.

2007, **Di Mauro R., Longo V.**, *Teatro Bellini Catania, Indagini diagnostiche sulle strutture di copertura e sulla volta centrale*, in *Recupero e conservazione* n.78.

2007, **Ferrari F., Pancaldi A.**, *Efficienza energetica, nuove tecnologie (parte seconda)*, in *Recupero e conservazione* n.70.

2007, **Mantelli M., Ravera M.**, *Il monitoraggio tecnico degli interventi, un metodo per conservare e divulgare “la conoscenza”*, in *Recupero e conservazione* n.78.

2007, **Marmo F.**, *L'innovazione nel consolidamento, Indagini e verifiche per la conservazione del patrimonio architettonico*, Gangemi Editore

2007 **Menci L, Nex F, Rinaudo F.**, *Zscan menci software: un nuovo strumento per le elaborazioni fotogrammetriche multimmagini*, In: ATTI XI CONFERENZA NAZIONALE ASITA, FEDERAZIONE ASITA, XI CONFERENZA NAZIONALE ASITA, TORINO NOVEMBRE 2007, 2007.

2007, **Pedefferri P.**, *Corrosione e restauro di strutture in calcestruzzo armato*, in *Recupero e conservazione* n.78.

2007 **Sacerdote F., Tucci G.**, *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*, Alinea Editrice.

2008. **AA.VV.**, *La diagnostica per il restauro del patrimonio culturale*, atti del convegno DIACOMAST 2008, Cuzzolin.

2008, **Aveta A.**, *Diagnostica e conservazione, l'insula 14 del Rione Terra*, ESI.

2008, **Balletti C., Borgherini M., Guerra F., Scarso M.**, *Architettura delle facciate. Le chiese di Palladio a Venezia, nuovi rilievi, storie materiali* in Luav:59, giornale edito in occasione della mostra Architettura delle facciate. Le chiese di Palladio a Venezia, nuovi rilievi, storie materiali. Venezia 15/12/08>30/01/09

2008, **Casiello S. (a cura di)**, *Verso una storia del restauro. Dall'età classica al primo Ottocento*, Alinea, Firenze

2008, *Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni (12/10/2007)*, in *Gazzetta ufficiale* 29/01/2008 n.24

2008, **Genovese R. A. (a cura di)**, *Il cantiere della conoscenza, metodologie e strumenti per la conservazione e il restauro*, Arte Tipografica editrice.

2008, **Ghiretti A.**, *Lo studio del comportamento statico delle strutture antiche e le nuove tecnologie per il rilievo e la modellazione tridimensionale: la cupola esagonale di Santa Maria del Quartiere in Parma*, in *Storia dell'Ingegneria*, Atti del 2° Convegno Nazionale, Napoli, 7-8-9 aprile 2008.

2008, **Rocca E. (a cura di)**, *Estetica e architettura*, Il Mulino, Prismi.

2008, **Rosina E.**, *Stati Uniti: un centro per lo sviluppo dell'innovazione tecnologica nella conservazione*, 'ANANKE n.54.

2008, **Scarocchia S.**, *Sviluppo della tutela in Austria*, in 'ANANKE n.54.

2008, **Vernizzi C.**, *Strumenti e tecniche di rilevamento e restituzione grafica avanzate per la valutazione dei meccanismi di danno nell'architettura storica monumentale: il caso della chiesa di Santa Maria del Quartiere in Parma*, in *Storia dell'Ingegneria*, Atti del 2° Convegno Nazionale, Napoli, 7-8-9 aprile 2008.

2009, **Alagna A.**, *Stratigrafia per il restauro architettonico, il metodo dell'analisi stratigrafica delle superfici murarie per la conoscenza e la conservazione del costruito storico*, Aracne

2009, **Aveta A.**, *Architettura storica e conservazione*, in AA.VV., *La diagnostica per il restauro del patrimonio monumentale*. Cuzzolin Editore Napoli

2009, **Bartoli G., Guidi G.F.**, (Università "La Sapienza" di Roma, ENEA-INN-ART) *Un impiego della termovisione e dell'indagine microclimatica per il rilievo dell'umidità*, in *Tecniche e Materiali*

2009, **Biagi Maino D. et alii**, *Analisi Multispettrali su un dipinto di Pietro Lianori*, in *Archeomatica n.0*, Bresciani

2009, **Bresciani V.**, *Sistema di analisi di fluorescenza X portatile*, in *Archeomatica n.0*, Bresciani.

2009, **Cantalini L., Placidi A.**, *Architettura Trasformazioni Restauro, Il convento di San Giacomo ad Ofena*, Alinea Editrice.

2009, **Colombo L.**, *Costruzione di modelli fotorealistici dell'edificio*, in *Archeomatica n.0*, Bresciani.

2009, **De Crescenzo F. et alii**, *L'Ebe di Canova: Modello digitale e sviluppi applicativi*, in *Archeomatica n.0*, Bresciani.

2009, **Fiorani D. (a cura di)**, *Restauro e tecnologie in architettura*, Carocci

2009, **Ghezzi M., Santarsiero D.**, *ZScan, Scansione tridimensionale digitale*, in *Archeomatica n.0*, Bresciani.

2009, **Marengo M., Rosina E., Salerno A.**, *Termografia infrarossa. Come valutare lo stato di conservazione degli edifici*, in "Eùbios, bene et comode vivens", n.22

2009, **Ramazzotti M.**, *Dall'automazione del Record Geomagnetico alla scoperta del Tempio della Roccia (2400-2350 a.c. circa)*, in Archeomatica n.0, Bresciani.

2009, **Spodek J., Rosina E.**, *Application of Infrared Thermography to Historic Building Investigation*, in Journal of Architectural Conservation, vol.15, n.1.

2009, **Rosina E.**, *Metodi di analisi preliminare del degrado per i beni Culturali*, in Focus, a cura di Alfredo M. Ronchi.

2009, **Rosina E.**, *Gli accertamenti diagnostici per la tutela del costruito storico diffuso, dal progetto preliminare alla conservazione preventiva dopo l'intervento*, in La diagnostica intelligente, atti del convegno scientifico

2010, **Achille C., Cavalieri F., Lombardini N.**, *Conoscere per conservare il costruito. Storia, rilievo e rappresentazione*, Maggioli (Milano)

2010, **Balzani M., Galvani G., Maietti F.**, *La Cittadella di Gozo a Malta. Il rilievo tridimensionale integrato nel progetto di documentazione per il restauro*, Dossier: Rilievo per il restauro, la Cittadella di Gozo a Malta, in Paesaggio urbano n.2, Maggioli editore.

2010, **Bertocci S.**, *Il rilievo dell'interno della cattedrale della Cittadella*, Dossier: Rilievo per il restauro, la Cittadella di Gozo a Malta, in Paesaggio urbano n.2, Maggioli editore.

2010, **Bertocci S., Pancani G.**, *La restituzione del rilievo morfometrico*, Dossier: Rilievo per il restauro, la Cittadella di Gozo a Malta, in Paesaggio urbano n.2, Maggioli editore.

2010, **Maietti F.**, *Documentazione dello stato materico e conservativo della Cittadella e rilievo diagnostico*, Dossier: Rilievo per il restauro, la Cittadella di Gozo a Malta, in Paesaggio urbano n.2, Maggioli editore.

2010, **Grillini G. C.**, *Gli affioramento geologici e il materiale lapideo*, Dossier: Rilievo per il restauro, la Cittadella di Gozo a Malta, in Paesaggio urbano n.2, Maggioli editore.

2010, **Ferrari F.**, *Il modello 3D*, Dossier: Rilievo per il restauro, la Cittadella di Gozo a Malta, in Paesaggio urbano n.2, Maggioli editore.

2010 **Chiabrando F., Piatti D., Rinaudo F.**, *Camere ToF per il rilievo metrico: test e prime applicazioni*, In: 14a CONFERENZA NAZIONALE ASITA, ASITA (ITA), 14a CONFERENZA NAZIONALE ASITA, BRESCIA 9-12 NOVEMBRE 2010, pp. 6, 2010, pagine da 579 a 584.

2010, **Chiabrando F., Nex F., Piatti D., Rinaudo F.**, *Integrazione tra camera ToF e tecnica fotogrammetrica multi-immagine per il rilievo metrico*, In: 14a

CONFERENZA NAZIONALE ASITA, ASITA (ITA), 14a CONFERENZA NAZIONALE ASITA, BRESCIA 9-12 NOVEMBRE 2010, pp. 6, 2010, pagine da 585 a 590

2010, *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica* (scheda AeDES)

2010, **Ronzino P.**, *Innovative Techniques for 3d Digital Survey of the Paphos Theatre*

2010, **Ronzino P.**, *Il rilievo 3D del Teatro di Nea Paphos*, in TECNOLOGIE

2011, **Pesci A., Bonali E.**, *Un esperimento per definire la reale risoluzione di un rilievo laser a scansione terrestre*, In: RAPPORTI TECNICI INGV, n. 173, anno 2011

2011, **Pesci A., Casula G., Bonali E., Boschi E.**, *Metodo per lo studio di edifici storici mediante misure laser a scansione terrestre: le due torri di Boglogna*, In: RAPPORTI TECNICI INGV, n. 178, anno 2011

2011, **Genovese R. A. (a cura di)**, *Dalla conoscenza al progetto, Metodologie e strumenti per la conservazione e il restauro*, Arte Tipografica editrice.

Sul castello aragonese di Ischia e la Cattedrale dell'Assunta

1867. **D'ascia G.**, *Storia dell'Isola d'Ischia*, Napoli

1913. **Mirabella B.**, *Cenni storici e guida dell'Isola d'Ischia*, Napoli

1924. **Buonocore O.**, *La storia di uno scoglio*, Napoli

1924. **Frenkel W.**, *Guida all'isola d'Ischia*, Napoli

1930. **Algranati G.**, *Ischia*, Bergamo

1931. **Buonocore O.**, *Nell'isola d'Ischia. Briciole d'arte*, Ischia (Na)

1948. **Buchner G., Rittman A.**, *Origine e passato dell'isola d'Ischia*, Napoli

1957. **Buonocore O.**, *Sul Castello d'Ischia*, Napoli

1961. **Pedrazzi O.**, 15.06. *Ad Ischia c'è un castello*, "Il Mattino", Napoli

1965. **Buchner Niola D.**, *L'isola d'Ischia. Studio geografico*, Napoli

1965. **Mariotti S.E.**, *Il Castello d'Ischia*, Napoli

1968. **Buchner P.**, *Gast auf Ischia*, Munchen

1970. **Wesendonk A. V.**, *Bella Ischia*, Munchen
1980. **Don Monti P.**, *Ischia, archeologia e storia*, Napoli
1982. **Colonna V.**, *Rime*, Roma
1982. **Cervera, G. G.**, *Cronache del '700 ischitano*, Melito (Na)
1985. **Sardella F.**, *Architetture di Ischia*, Ischia (Na)
1987. **Delizia I.**, *Ischia, l'identità negata*, Ercolano (Na)
1990. **Delizia I.**, *Ischia d'altri tempi*, Napoli